

人

と

自

然

32

人と自然 (Humans and Nature)

第32号

原著論文

- 秋山弘之：日本・台湾産ジャゴケ複合種における形態と生態の多様性（英文）…………… 1
- 石田弘明・武田義明：兵庫県北部に分布するコナラ二次林とブナ二次林の種組成と垂直分布…………… 47
- 福本 侑・佐藤裕司・加藤茂弘・兵頭政幸：兵庫県南部沿岸域における中期更新世（MIS11）の珪藻化石群集と地殻変動量の評価…………… 57
- 加藤茂弘・檀原 徹・山下 透・岩野英樹：埼玉県秩父盆地、尾田蒔丘陵のチバニアン期（中期更新世）テフラの岩石記載的特徴とフィッション・トラック年代…………… 69

報 告

- 岸 大弼：現存しない与太郎淵（岐阜県）におけるヒブナの記録…………… 89
- 高槻成紀・望月亜佑子：スギ人工林の間伐が下層植生とポリネーションに与える影響 —アファンの森と隣接する人工林での観察例—…………… 99
- 柏木健司・佐藤英文：標高110mの海食崖頂部におけるイソカニムシの記録…………… 109

資 料

- 黒田有寿茂：播磨灘・周防灘沿岸における海岸植物20種のフェノロジー観察記録…………… 115
- 古川真澄・依田清胤・辻 大和：センサーカメラを用いた石巻専修大学演習林（宮城県）の哺乳類相および鳥類相の評価…………… 133

書 評

- 加藤茂弘：中央構造線断層帯 —最長活断層帯（四国）の諸性質—…………… 141

Humans and Nature

No. 32

Original Articles

- Hiroyuki AKIYAMA:** Morphological and ecological diversification of *Conocephalum conicum* complex in Japan and Taiwan 1
- Hiroaki ISHIDA and Yoshiaki TAKEDA:** Species composition and altitudinal distribution of *Quercus serrata* secondary forests and *Fagus crenata* secondary forests in northern Hyogo Prefecture, Japan 47
- Yu FUKUMOTO, Hiroshi SATO, Shigehiro KATOH and Masayuki HYODO:** Diatom fossil assemblages of the Middle Pleistocene (MIS11) deposits and evaluation of crustal movements in the coastal area of southern Hyogo Prefecture 57
- Shigehiro KATOH, Tohru DANHARA, Tohru YAMASHITA and Hideki IWANO:** Petrological characteristics and zircon fission-track ages of the Chibanian (middle Pleistocene) tephra layers on the Odamaki Hill in the Chichibu Basin, Saitama Prefecture, eastern Japan 69

Reports

- Daisuke KISHI:** Records of scarlet crucian carp (hibuna) *Carassius* sp. in the extinct Yotarobuchi Pond (Gifu Prefecture, Japan) 89
- Seiki TAKATSUKI and Ayuko MOCHIZUKI:** Effects of thinning on undergrowth and pollination in a Japanese cedar plantation – A case study at Afan Woodland and the adjacent conifer plantation forest – 99
- Kenji KASHIWAGI and Hidebumi SATO:** *Garypus japonicus* Beier, 1952 (Arachnida: Pseudoscorpiones: Garypidae) from approximately 110 m above sea level at the sea cliff crest in Japan 109

Data

- Asumo KURODA:** Phenological observations of 20 coastal plant species in coastal areas of the Harima-nada and Suo-nada Seas, western Japan 115
- Masumi FURUKAWA, Kiyotsugu YODA and Yamato TSUJI:** A survey of mammalian and avian fauna in University Forest of the Ishinomaki Senshu University, Miyagi Prefecture, using sensor cameras 133

Book Review

- Shigehiro KATOH:** “Median Tectonic Line Fault Zone” by Atsumasa OKADA 141

Original article

Morphological and ecological diversification of *Conocephalum conicum* complex in Japan and Taiwan

Hiroyuki AKIYAMA

Museum of Nature and Human Activities, Hyogo / Institute of Nature and Environmental Sciences, University of Hyogo;
6 Yayoigaoka, Sanda, Hyogo 669-1546, Japan: akiyama@hitohaku.jp

Abstract

Based on DNA haplotype and morphology analyses, 3 separate species of *Conocephalum conicum* s. lat. and *C. salebrosum* had been recognized in Japan and Taiwan by Akiyama and Odrzykoski (2020), and are described here. Morphological features and patterns of distributional areas for the 4 species, including 3 new taxa, *C. orientalis* H. Akiyama, *C. purpureorubrum* H. Akiyama, and *C. toyotae* H. Akiyama (formerly recognized as *C. conicum* J, F, and R types, respectively) as well as pan-boreal *C. salebrosum* are described in detail.

Key words: *Conocephalum orientalis*, *Conocephalum purpureorubrum*, *Conocephalum salebrosum*, *Conocephalum toyotae*, hepatics, taxonomy

(Received: 25 May, 2021 / Accepted: 20 August, 2021 / Published: 5 January, 2022)

Introduction

The genus *Conocephalum* Hill (Marchantiidae) is a complex thalloid liverwort and a member of the Conocephalaceae (Grolle 1972). The genus was long considered to include three species, i.e., the European endemic *C. conicum* (L.) Dumort., pan-boreal *C. salebrosum* Szweyk., Buczk. & Odrzyk., and the East Asian endemic *C. japonicum* (Thunb.) Grolle. However, a number of molecular systematic studies have revealed the presence of additional cryptic species in the *C. conicum* complex (for example, Akiyama and Hiraoka, 1994a; Kim et al., 1996, 2001; Miwa et al., 2009) and in the *C. japonicum* complex (Miwa et al. 2003). More detailed history of the genus is provided by Akiyama and Odrzykoski (2020).

Akiyama and Odrzykoski (2020) examined the inter-relationships among the 6 cryptic “species” in the *C. conicum* complex and 3 of the *C. japonicum* complex in a world-wide study and they noted the following three points: 1) the *Conocephalum conicum*/*salebrosum* complex and *C. japonicum* complex should be classified in separate genera, the latter as

Sandea japonica Steph. ex Yoshin. as Grolle (1984) already suggested; 2) the *Conocephalum conicum*/*salebrosum* complex is confirmed to include no less than 6 species in the world; and 3) there are 4 species in the *C. conicum*/*salebrosum* complex distributed in Japan and Taiwan. These 4 species were previously known as J type, F type, R type (or Chemotype III in Toyota 2000) and *C. salebrosum*. Morphological differences among the 4 species were summarized by Akiyama and Odrzykoski (2020; Table 2).

The main purpose of this report is to describe these 4 species found in Japan and Taiwan and present their differences in morphology and distributional pattern. To investigate the distribution of each species, their identities were checked by morphology of living plants and by DNA sequences of *rps4* [the plastid *trnS-rps4* region, i.e., *rps4* plus the *trnS-rps4* intergenic spacer (IGS)] for all plants (ca. 450 samples) gathered by the author in Japan and Taiwan from March 2017 to September 2020 and members of the “Jagoke Expedition Team” (a total of 56 people from Japan and Taiwan). All specimens examined are deposited in the cryptogamic herbarium of the Museum of Nature

and Human Activities, Hyogo (HYO) and shown as “specimens examined” compiled in Appendix of this paper. Living plants and those fixed in 50 % ethanol were used to investigate morphological features as well as coloration, glossiness, and their odor caused by volatile compounds which can be observed only in fresh conditions.

In addition to the morphological features previously examined by Szweykowski et al. (2005), the following were also investigated in this study; 1) mucilage canals and mucilage cells examined with alcohol-soaked specimens (Plate 9, A–D), 2) epidermal structures of thalli (Plate 8), and 3) shapes of fertilized carpocephala in female plants (Plate 7). These features are reflected in the keys to the species below and in the descriptions of each species.

When describing *Conocephalum salebrosum*, Szweykowski et al. (2005) considered the following features as important to distinguish the species from the European endemic *C. conicum* s. str.; 1) basal structure of the air pore apparatus observed in vertical sections of female carpocephala, and 2) the numbers of cells in the unistratose portion of the thallus margins. However, these features were not stable within each species and thus cannot be used as distinguishing features for Asian species. Furthermore, it became clear that cell arrangement of ventral scale appendages were too variable in size and shape including their cell arrangement according to developmental stages and environmental conditions to be used to distinguish each species, though Akiyama and Hiraoka (1994a) treated them as effective to distinguish the Japanese three cryptic species.

I follow here Akiyama and Odrzykoski (2020) who treated *Conocephalum japonicum* as a member of a different genus *Sandea* Lindb. *Sandea* and *Conocephalum* can be distinguished as shown in the following keys. For more information on *Sandea*, which is not treated here, refer to Kitagawa (1982), Grolle (1984), Miwa et al. (2003, 2004), and Akiyama and Matsumoto (2021).

Taxonomical Treatment

Key to the genera of the Conocephalaceae

1. Winter annual (sometimes perennial in warmer and wetter condition). Plants small, rather densely branched, thallus 3–6 mm wide. Thallus apices freely branched in late autumn, bearing parenchymatous sub-rounded propagules. Air-chamber borders not deeply impressed. Thallus

without mucilage canals. Female carpocephala with sporophytes surrounded with entire appendages during autumn and winter. Spore mother cells linear.

..... *Sandea* (not treated in this paper)

1. Perennial. Plants medium to robust, rather remotely branched, thallus 1–2 cm wide. Thallus apices not freely branched but form winter buds in late autumn, which resume growth in the next spring. Air-chamber borders more or less deeply impressed (except *C. salebrosum*). Thallus with long mucilage canals (except *C. toyotae*). Propagules almost always absent, but round tubers, formed from underside of thallus rarely found in European and North American species. Female carpocephala with sporophytes surrounded with deeply cleft appendages during autumn and winter. Spore mother cells variable in shape such as tetrahedral, ellipsoid or globose, but not linear.

..... *Conocephalum*

Conocephalum Hill, Gen. Nat. Hist. ed. 2, 2: 118 (1773), *nom. conser.*

Type species: *Conocephalum conicum* (L.) Dumort. ≡ *Marchantia conica* L., Species Plantarum 2: 1138 (1753) ≡ *Hepatica conica* (L.) Adans. ex Lindb., Commentationes Botanicae 115 (1822).

Description: **Plants** perennial, vigorous, aromatic or sometimes odorless, often leathery with undulate margins in sunny places, sometimes becoming quite thin in shaded conditions, 7–25 mm wide and 50–200 mm long, sometimes wider and longer, yellowish green to blackish green, with purplish red color at margins and lower side of thalli; lower side of thalli often changing to reddish purple in late autumn and winter. **Thalli** thicker along the costa, becoming thin towards the margins, flat, margins sometimes gently depressed; surface coarsely and regularly areolate with elongated-hexagonal, lighter whitish green, impressed lines; **areole** (Fig. 1) smaller at margin and apex of thalli, larger at inner part except for 2–3 lines at central part; each areole with a central, pale, more or less elevated pore [= **areolae** (Fig. 1)]; composed of unistratose portion at extra margins with 1–5 cell-lines, where aerenchymatous layer absent. **Epidermis** with hyaline cells, smaller at margins and central part, lax between them. **Oil-cells** present, scattered on both surfaces and appendages of ventral scales, often surrounded by 7–8 wedge-shaped cells, smaller and rich in number at lower surface of thallus margins. **Pores** surrounded by 2–5 rings of cells, each ring

with 6–8, narrowly elongate or curved cells, bounded by thin secretion. **Aerenchyma** (spongy tissue) low, in one layer, with network of chlorophyll-rich filamentous cells; chlorophyllous filaments with 3–5 cells underlying the areolae; each filament ending in hyaline, conspicuously elongated beaked cells; often with mucilage cells at costal and marginal part of thalli. **Ventral tissue** solid, except for the presence of mucilage canals (slime canals) along costal thicker part; upper cells with vertical striae or pitted striations. **Rhizoids** more or less abundant on wings and costae, sometime few. **Ventral scales** 2-ranked, pale or light to deep purplish red, with basally constricted, sub-circular, dark purplish red appendages; a few oil cells present. **Asexual reproduction** quite rare (probably lacking for Asian plants), with ill-defined tubers formed at lower side of thalli in older portions.

Dioicous. **Male receptacles** terminal on thalli, formed much earlier than female ones mostly along with development of a new thalli from winter buds in early spring, often positioned on more or less upwardly aligned thalli and elevated by short petiolate branches; not stalked, round or ellipsoid in outlines, thick; upper surface roughened with somewhat elevated or conical openings of the antheridial chambers, from which sperm cells are discharged into the air in late spring; fallen-off from thalli by late summer. **Female receptacles**, remaining sessile, deeply inside the cavity at the terminus of thalli, becoming soon shrunk without successful fertilization; receptacles with fertilized embryos (sporophyte) in archegonia also remain sessile until spores mature in early spring, rapidly raised upwards by elongation of translucent fresh long stalks just before spore dispersal. **Stalks** 4–10 cm in length, colorless or slightly greenish, rarely slightly tinted red, translucent, smooth, with a single rhizoid furrow, and lacking an aerenchyma-chlorenchyma layer. **Heads of female receptacles (carpocephala)** conical, size and apex shape different among each species, very shallowly to hardly lobed, usually with 5–8 lobes, each bearing a single archegonium; lower part of areolae with much more compound structure compared to that of usual thalli. **Paleae** absent. **Involucres** membranous, tubular, undivided. **Pseudoperianth** absent.

Sporophytes with short foets and relatively massive setae; setae slightly elongating and capsules barely protuberant just before dehiscence. **Capsules** obovoid-ellipsoidal, cells of the unistratose wall with distinct annular thickenings; dehiscence via irregular

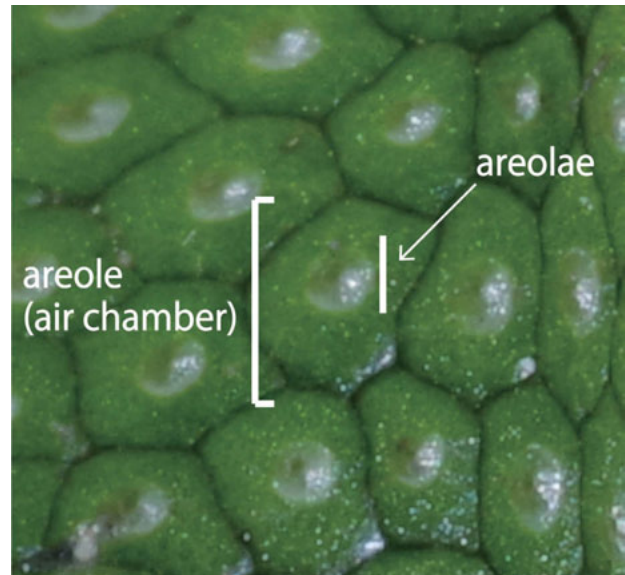


Figure 1. Areolae (air pore and surroundings) and areole (air chamber) in the upper surface of thallus.

clefts (often 8 in number) from the top to the base, but not extending to the middle of capsule. **Elaters** ca. 2–3 times greater in number than spores, quite variable in size and shape, often pointed at both ends, with 2–3 narrow spirals. **Spores** slightly irregular spherical to ovoid, 60–120 μm in longer diameter (just before dehiscence), thin-walled, delicately papillose on proximal (inner) surface, delicately papillose with scattered larger papillae on distal (outer) surface; spores chlorophyllous, precociously pluricellular, reaching maximum size just before dehiscence; fertility ranging from less than 40 % to almost 100 %; often varying in size and fertility even in a single species.

Note 1 (Dorsal grooves between air chambers). Degree of glossiness and thickness of outer cell-walls of upper epidermis of thalli vary among species and can be used to determine species identity. Although cell arrangement at the junction of air chamber walls to epidermis is not stable within each species, depth of grooves (deep or shallow) between air chambers are stable within a species. For example, as pointed out by Szweykowski et al. (2005), *C. conicum* s. str. has plane surfaces and *C. salebrosum* has more or less uneven surfaces (species epithet was named after this feature). The Asian *C. salebrosum*, however, has mostly plane surfaces (Plate 8, M–P) compared to deeply depressed grooves found in the other 3 species. Therefore, the plane surfaces can be one of the useful

features to distinguish Asian *C. salebrosum* from the FE type of *C. purpureorubrum*, both of which have similar plant appearance in northern Japan.

Note 2 (Air pore structure). Lower areolae structure in a female carpocephalum is more highly complexed than that observed in the surface of a vegetative thallus. Szweykowski et al. (2005) used it as one the useful features to distinguish *C. conicum* s. str. from *C. salebrosum* in Europe. For Asian plants, even including Asian plants of *C. salebrosum*, however, this feature is not stable within each species: both short and long types were found in all 4 species and the feature cannot reliably be used to distinguish the Asian species.

Szweykowski et al. (2005) also pointed out that epidermal cells of carpocephala are mostly bistratose in *C. conicum* s. str., while they are unistratose in *C. salebrosum*. In Asian plants, they are mostly bistratose in *C. salebrosum* and *C. toyotae*, 3–4-stratose and sometime more in *C. orientalis* and *C. purpureorubrum*.

Note 3 (Endosporic germination). Spores are slightly irregular spherical or ovoid in shape. Their size and shape changes during the process of endosporic germination, reaching 70–120 µm in longer diameter just before dehiscence. Fertility of spores varies among plants in each species (sometimes even among capsules of a single carpocephalum); for example, it is 40–100 % in *C. orientalis* with smaller sterile spores. Discharged spores contain a number of chloroplasts inside because of endosporic germination. They lose geminating ability within 30 days under room condition (Inoue 1966).

Note 4 (Male receptacles). Male plants of *Conocephalum* species produce receptacles near the tips of newly formed lobes in spring. The size of male receptacles are vary in size and shape even in the same population. Young, newly formed lobes are branched and both or one of lobe bears a single male receptacle at the tip. When the male receptacle is formed, growth of the lobe tentatively ceases and the lobe remains short, standing upwards with a short stipe which is almost entirely composed of a midrib of the usual thallus (Fig. 2-A). Since *Conocephalum* species (and *Sandea*) are known to explosively release microscopic water droplets containing sperm cells into the air (Shimamura et al., 2015), these upwardly oriented, short branches with male receptacles at the top may be an efficient platform to release sperm from a higher position above the soil surface.

Note 5 (Growing substrata). All species of

Conocephalum and *Sandea* mostly grow on soil with well-developed rhizoids elongating downwards and never attaching directly to the rock surface without a thin soil layer. The only exception is found with *C. salebrosum* elongating on calcareous walls. This requirement for an amount of soil as a growth substrate may be one of the reasons why *Conocephalum* species are not distributed at lower elevations in subtropical regions in Japan and Taiwan, where rocky substrates are almost devoid of soil cover due to the extent and speed of water flow during the rainy season.

Note 6 (Fungal infection). When plants of *Conocephalum* growing on the ground, irrespective of species, fungal mycelia almost always invade the parenchyma along the midribs. Such infected portions are recognized by the pale purplish red color contrasting from the surrounding uninfected colorless parts. The process of mycelial invasion was studied in detail by Carré and Harrison (1961) and Clee (1943).

Note 7 (Mucilage in thalli). Fresh plants, especially larger plants of *Conocephalum orientalis*, store a lot of mucilage within mucilage canals. They can be recognized as transparent and sticky liquid running down through the holes of the canals as seen in transverse sections of the thallus (Plate 9, H). It is a clear liquid when fresh, but turns opaque, whitish and rather solid when soaked in ethanol, thus making it easier to observe.

Both oil cells and mucilage cells are present in *Conocephalum* species. Inner contents of oil cells disintegrate when soaked in 50 % ethanol, while the contents of mucilage cells that are transparent in fresh conditions, as in the case of mucilage canals, becomes opaque and whitish and thus visible to the naked eye. Mucilage cells are solitary and slightly larger in size than surrounding cells. In contrast, oil cells in thalli (mostly at the upper and lower margins) and ventral scales are surrounded by a number of long rectangular cells arranged in a circle.

Conocephalum salebrosum, often growing in rather dry habitats, tends to have a greater number of mucilage canals and mucilage cells in thalli. In contrast, *C. toyotae*, which grows under snow cover during the winter season, lacks both mucilage canals and mucilage cells. These structures are expected to be closely related to desiccation tolerance.

According to Cavers (1904), Bolleter (1905), and Kobiyama and Crandall-Stotler (1999), mucilage canals originate from longitudinal connections of original unicellular mucilage cells. The relationships

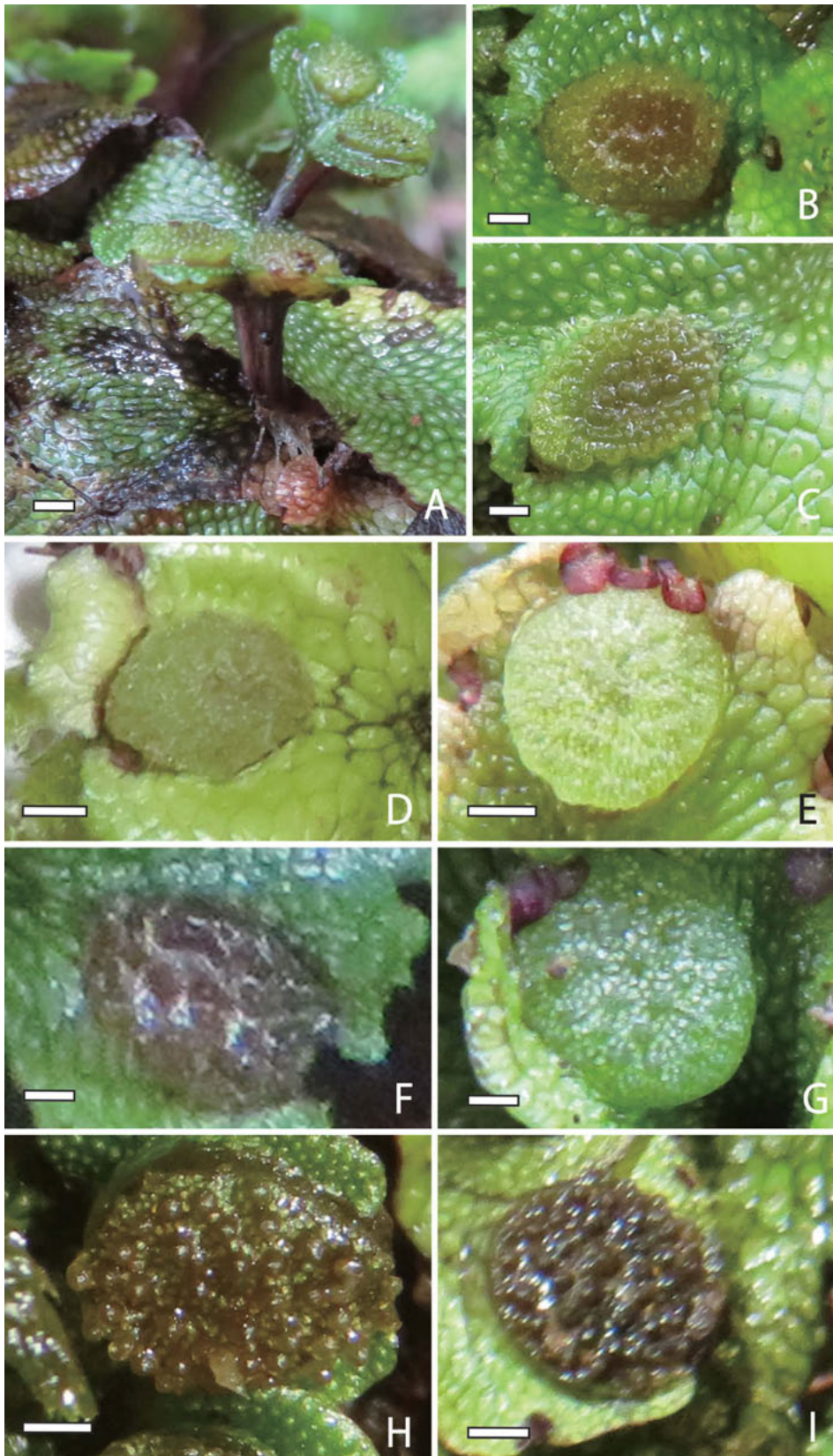


Figure 2. Male receptacles of the 4 species of *Conocephalum*. A–C: *C. orientalis*. D and E: *C. purpureorubrum*. F and G: *C. salebrosum*. H and I: *C. toyotae*. Scale bars = 2 mm for A, 1 mm for the others. A and C: Tsunokame, Hyogo Pref., 17 June 2017. B: Ashizuri, Kochi Pref., 2 April 2018. D: Umaji-mura, Kochi Pref., 3 May 2018. E: Totsugawa, Nara Pref., 24 May 2019. F: Taishaku-kyo, Hiroshima Pref., 10 July 2017. G: Atsunai, Hokkaido Pref., 28 April 2018. H: Yuzawa-cho, Niigata Pref., 22 June 2018. I: Nikko-shi, Tochigi, 14 July 2018.

between these mucilage cells along the costal region of thalli and those scattered all over the thalli remain unsolved.

Three species of the *Conocephalum conicum/salebrosum* complex, formerly known as J, F (or FS in Akiyama and Hiraoka 1994) and R types distributed in Japan and Taiwan, are described as new species based on morphological examination using a number of fresh samples as well as molecular phylogeny (Akiyama and Odrzykoski, 2020). Asian *Conocephalum salebrosum* [formerly known as T-type in Akiyama and Hiraoka (1994)] differs slightly from European *C. salebrosum* in the luster of the thalli, and shape of the apical end of the female carpocephala. According to Szweykowski et al. (2005), European endemic *Conocephalum conicum s. str.* is different from the Asian 4 species in totally flat outer epidermis of thallus; dorsal thallus surfaces of *C. conicum s. str.* are usually even, limits between particular air chambers are lying at same level as rest of epidermis, and highest cells of air chamber walls are usually not inserted into epidermal layer.

Keys to the 4 species of *Conocephalum* in Japan and Taiwan

1. Air chambers (areole) small, similar in size between those at the margins and the central costal parts (Fig. 3 G, H). Grooves between air chambers deeply impressed. Cells of upper epidermis of thalli large and with thin walls (Plate 8 Q–S). Mucilage canals absent along midrib of vegetative thalli (Plate 9 G), but present at upper portion of carpocephala. Mucilage cells absent. Carpocephala after fertilization helmet-shape with round apices (Plate 7 I, J). Living plants with distinctive odor of Matsutake mushrooms (Methyl cinnamate) even after long-term cultivation in a green house, but weakened or lost in late autumn or in artificial humid conditions such as in tightly sealed transparent plastic cups. 4. *C. toyotae*
1. Air chambers (areole) becoming narrower and longer towards central costal portions (Fig. 3 A–F). Grooves between air chambers shallow (*C. salebrosum*) or deeply impressed (*C. orientalis* and *C. purpureorubrum*). Cells of upper epidermis of thalli rectangular in shape with thin (*C. salebrosum* and Western Japanese form of *C. purpureorubrum*) or thick walls (*C. orientalis* and Eastern Japanese form of *C. purpureorubrum*). Mucilage canals present along the midrib of thalli and carpocephala. Mucilage cells present (*C. salebrosum*) or often absent (*C. orientalis* and *C. purpureorubrum*). Carpocephala after fertilization conical, narrowly acute to obtuse, but not round. Plants with various kinds of scent, often fresh, earthy or slightly musty odor, sometime odorless, quite rarely with Matsutake mushroom odor in Eastern Japanese form of *C. purpureorubrum*. ... 2
2. Plants with distinctly shiny thalli, light green (Fig. 3 A), but often becoming yellowish when growing in shaded places (Fig. 3 B). Thalli wide, vigorous. Size of air chambers smaller at thallus margins, larger towards the center. Grooves between air chambers mostly deep. Areolae almost always occupying more than half of the width of air chambers. Outer epidermal cells with thick walls (Plate 8 A–D). 1. *C. orientalis*
2. Plants matt, yellowish green (Western Japanese form of *C. purpureorubrum* and *C. salebrosum*) or slightly shiny, blackish green (Eastern Japanese form of *C. purpureorubrum*). Air chambers mostly similar in size at margins and central parts. Grooves between air chambers deep (*C. purpureorubrum*) or shallow (*C. salebrosum*). Areolae occupying less than 1/3 of the width of air chambers. Outer epidermal cells with thin (Western Japanese form of *C. purpureorubrum* and *C. salebrosum*) or thick walls (Eastern Japanese form of *C. purpureorubrum*). 3
3. Plants often thick, becoming thin when growing in fully shaded conditions. Upper surface of thalli matt and yellowish green (Western Japanese form; Fig. 3 C) or slightly shiny and blackish green (Eastern Japanese form; Fig. 3 D); sometimes with a blackish central line on upper surface. Lower surface of thalli usually reddish purple even in summer seasons. Upper epidermal cells with thin (Western Japanese form; Plate 8 I–L) or thick walls (Eastern Japanese form; Plate 8 E–H). Grooves between air chambers deep (Plate 8 E–L). Mucilage canals well developed, but mucilage cells often absent. Rhizoids often dense, occurring throughout lower surfaces of thalli. Carpocephala after fertilization with round or slightly flat apices (Plate 7 A, B). Plants almost always with fresh, earthy odor, quite rarely with Matsutake mushroom odor in the Eastern Japanese form. 2. *C. purpureorubrum*
3. Plants often thin; especially those growing directly

on surfaces of limestone cliffs becoming as thin as paper. Upper surface of thalli matt, yellowish green, almost lacking blackish lines in the center. Lower surface of thalli yellowish green (Plate 5 E, G), rarely becoming reddish orange at margins or whole surface (in Taiwanese plants; Plate 5 B). Upper epidermal cells with thin walls, becoming smaller towards the central parts (Plate 8 M–P). Grooves between air chambers shallow (Plate 8, M–P). Both mucilage canals and mucilage cells well developed. Rhizoids often few, only developing at central costal parts. Carpocephala after fertilization sharply pointed (in Japanese plants; Plate 7 C, D) or round (in Taiwanese and European plants). Plants usually with slightly musty odor or without odor when growing on drier substrata. Often found in limestone areas; restricted to rather damp and shaded places near the mouths of limestone caves in western Japan, where cool and wet air supplied throughout the year. 3. *C. salebrosum*

1. *Conocephalum orientalis* H. Akiyama, n. sp.

Figs. 2 (A–C), 3 (A, B), 4 (A–D), 5 (B, D), 7 (A, B), Plates 1 (A–L), 2 (A–J), 8 (A–D), 10 (A)

Protologue: Plants similar to *Conocephalum salebrosum*, but larger and wider, reaching 20 cm in length, 1–2 cm in width. Thalli distinctively shiny with thick walls of upper epidermal cells. Air pores circular to elliptical; areolae occupying no less than half of width of air chambers.

Type: JAPAN, Hyogo Pref., Yabu-shi, Oya-cho, Yokoiki valley, 30 Nov. 2020, *H. Akiyama 26465* (holotype in HYO; isotypes distributed as exiccatae “Bryophytes of Asia” from HIRO).

Previous names: *Conocephalum conicum* J-type (Odrzykoski et al., 1991; Akiyama and Hiraoka, 1994a, b; Akiyama et al., 1998; Kim et al., 1996, 2001; Miwa et al., 2005; Akiyama, 2006, 2014; Ludwiczuk et al., 2013; Miyatake et al., 2018; Akiyama and Odrzykoski, 2020). *Conocephalum conicum* Chemotype I and Chemotype II (Toyota et al. 1997; Toyota 2000).

Conocephalum orientalis was first recognized as a distinct “type” in the *C. conicum* complex by Odrzykoski and Szwejkowski (1991) and then widely accepted by others (Akiyama and Hiraoka, 1994a; Kim et al., 1996, 2001; Miwa et al., 2010; Akiyama and Odrzykoski, 2020). For more details, see Akiyama and Odrzykoski (2020).

Japanese name: Oo-jiyagoke.

Etymology: Species epithet is selected because of its distribution areas in the Far East Asia.

Description: **Plants** perennial, vigorous, with refreshing forest scent, leathery, almost always shiny, 9–20 mm wide, to 20 cm long, usually green, yellowish green in shaded places; undersurface light green, becoming reddish purple towards late autumn. **Thalli** relatively thin, except along the costa, flat, margins plane or gently undulate; surfaces coarsely and regularly areolate with air chambers, with elongated-hexagonal, deeply impressed lines (grooves between air chambers); with 2–4 (–5) rows of unistratose portion at margins. **Areole** hexagonal, becoming smaller towards the margins, narrower and slightly longer along costa, with a pale, rather flatly elevated pore in the center. **Pores** mostly round, slightly elliptical along costa. **Areolae** occupying more than 1/2 of areole width. **Epidermal cells** hyaline, long rectangular in longitudinal section, with thick walls above. **Mucilage cells** of aerenchyma and ventral tissue often absent (74 out of 100 specimens examined lacking mucilage cells). **Rhizoids** abundant on wings and costae. **Ventral tissue** solid, except for the presence of 3–4 mucilage canals along costa, often with symbiotic fungi. **Ventral scales** in two rows, usually large, rarely small in size; appendages reniform to almost circular, margins entire or undulate, 0.25–0.48 × 0.4–0.90 mm. **Asexual reproduction** lacking.

Dioicous. **Female carpocephala** with fertilized sporophytes large, conical with obtuse and slightly round apices; with a number of short mucilage canals in aerenchyma; epidermis in 2–4 layers; with stalks reaching 9 cm in length when discharging spores, colorless. **Elaters** quite variable in size and shape, 150–350 µm in length, 12–38 µm in width. **Spores** 65–130 µm in longer diameter.

Habitat: *Conocephalum orientalis* has the largest plant bodies among all Japanese hepatics. In almost all cases, large *Conocephalum* plants that grow at streamside are this species. If thalli are shiny, the size of the air chambers increases toward the center of the thalli, and areolae are larger than 1/2 of the air chamber width, the plant can be definitely identified as *C. orientalis*. The species may become larger in size and forms quite large colonies in slightly shaded places, such as along streams and on seepage slopes of trail banks in forests.

Conocephalum orientalis almost always does not grow directly on rock surfaces without soil. However, there are exceptions; it can grow directly on surfaces

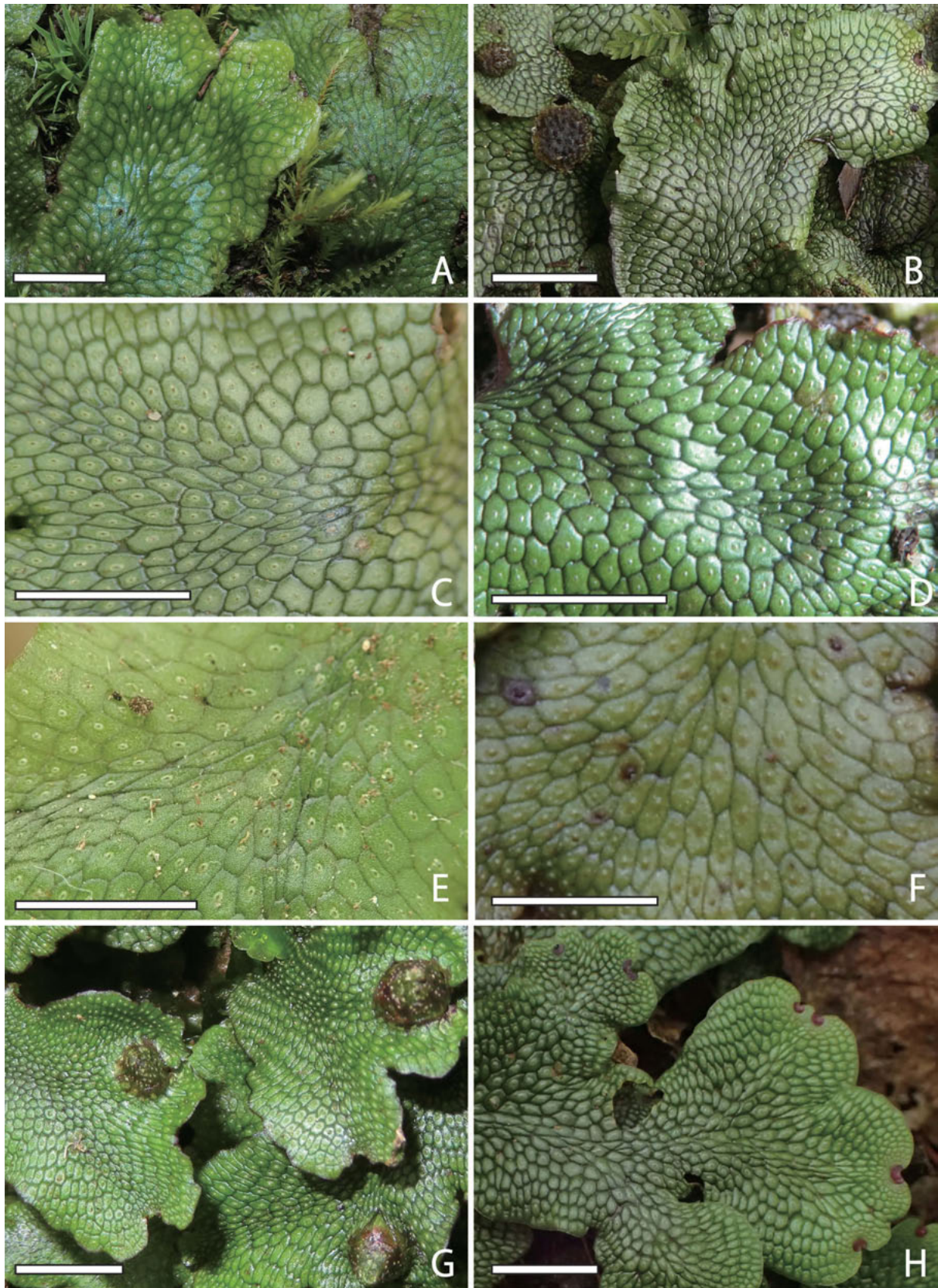


Figure 3. Comparison of areolae among the 4 species of the *Conocephalum conicum/salebrosum* complex. A: *C. orientalis*. B: *C. orientalis* (J3 type). C: *C. purpureorubrum* (FW form). D: *C. purpureorubrum* (FE form). E and F: *C. salebrosum*. G and H: *C. toyotae*. A: Hyogo Pref., Kami-cho, 26 Sept. 2018 (Akiyama s.n.). B: Aomori Pref., Hirosaki-shi, 22 Aug. 2017 (Uchida s.n.). C: Miyazaki Pref., Nichinan (Akiyama 26705). D: Tokyo Metro., Mt. Takao, 4 Dec. 2017 (Akiyama 25268). E: Fukuoka Pref., Hiraodai 29 Aug. 2019 (Akiyama 26704). F: Hiroshima Pref., Kami-Taishakukyo, 10 July 2017 (Akiyama 25094). G: Nagano Pref., Arimine, 30 Aug. 2018 (Akiyama 25677). H: Hokkaido Pref., Shari-cho, 8 Sept. 2018 (Uchida 712). Scale bars = 5 mm.

of large boulders in places where there is extreme amount of rainfall, such as Yakushima Island and the southern part of Miyazaki Prefecture.

Distribution: Japan [Hokkaido, Honshu, Shikoku, Kyushu, Ryukyu (Amami Isl., Tokunoshima Isl., Okinawa Isl. (only north of Nago-shi)], Taiwan. This is the most populous species among the 4 species of Asian *Conocephalum*, especially in Kinki and Chugoku Districts of Japan. Although previously known only from Japan, it was newly collected during the present surveys at two localities in the central Taiwan (Nantou Co., Xitou, and Yilan Co., Taipingshan). Horikawa (1934) previously reported *Conocephalum conicum* s. lat. from Iriomote Island (Hinai, Mt. Hatoma-mori; Okinawa Prefecture), but there has been no additional report from the island despite a number of subsequent intensive surveys (Isono et al., 1999, p. 100).

Specimens examined: See Appendix.

Note 1 (Mucilage in thallus). Plants grown in good moisture conditions become quite succulent. When such thalli are cut transversely, clear slimy contents (polysaccharides) can be observed flowing abundantly from the cross section of the mucilage canals (Plate 9, H).

Note 2 (Color of underside of thalli). In late autumn, the underside of thalli turn reddish purple and also winter buds are produced at the tip of thalli, which produce new shoots in the next spring. New shoots from winter buds become elongate and form conspicuous heart-shaped lobes. The base of these heart-shaped lobes is more or less colored pale reddish purple.

Note 3 (Variation in odor of plants). Fresh plants of *Conocephalum orientalis* have a strong refreshing odor that can be reminiscent of a deep forest. The composition of volatile components has been studied in detail by Asakawa et al. (1981), Toyota (2000), Miyatake et al. (2018) and others. *Conocephalum orientalis* with rigid and thick thalli in the coastal regions of southwestern Japan (recognized as J2 type in the present paper) was reported to produce large amounts of Methyl cinnamate (the main source of Matsutake odor of *C. toyotae*) when cultured in sealed plastic containers (Toyota et al., 1997; Toyota, 2000; Ab Ghahi et al., 2016; Miyatake et al., 2018).

Note 4 (Variation in plant appearance). The shape and color of thalli vary greatly according to the surrounding environments. When plants grow in darker places, for example, at the entrance of a cave, thalli become quite thin and yellowish in color and

such plants resemble *C. salebrosum*.

Plants with yellowish green color are sometimes found on roadside soils or beside streams in *Cryptomeria japonica* plantations. Ordinary green plants were also commonly present in the vicinity, and their DNA features (*rps4* or *trnH-psbA*) are not different (Akiyama and Odrzykoski 2020). Plants growing at higher altitudes in mountainous areas of central Honshu, Japan (for example, Jigokudani in the northern part of Mts. Yatsugatake, Nagano Prefecture) have very thin thalli and appeared similar to *Conocephalum salebrosum*, but their DNA feature is revealed to be the same of the typical *C. orientalis*.

In contrast, some individuals become hard and yellowish, probably due to tanning of the thalli surface when they formed population at places exposed to direct sunlight, such as concrete retaining walls along a sunlit roadways. In such plants, the ventral scales are dense, and their appendages are large and strongly colored reddish purple, which is reflected in the color of upper side of the thalli. Such plants may be mistaken for the Western Japanese form of *C. purpureorubrum*, but they can be distinguished as *C. orientalis* by noting the glossiness of the thallus surface, larger areolae comparing to air chamber size, and thick walls of the epidermal cells of the thalli.

The underside of the thalli varies in color with the seasons of the year. It is pale green from spring to autumn (with pale reddish purple at the basal part of the midrib), but the entire underside surface of thalli become reddish purple in late autumn and winter. Thus, it is not easy to distinguish *C. orientalis* from *C. purpureorubrum* by the color of underside of thalli alone at those seasons.

In subtropical regions such as the Satsuma Archipelago, Okinawa Archipelago, and Taiwan, the overwintering plants remain green on the underside of the thalli and continue growth even in winter and do not produce winter buds (Fig. 4, A, B).

Note 5 (Ecological form, J2 type). Along the Pacific coast from the Kinki District to the western Japan (see Appendix for distribution), when growing in sunny and dry conditions, the plants are very thick in texture with conspicuous wavy margins. Such an ecotype was first reported by Toyota et al. (1997) and referred to as "Chemotype II". This type is recognized as J2 type of *Conocephalum orientalis* in this paper.

Note 6 (Ecological form, J3 type). In Hokkaido and Tohoku Districts, as well as Ibaraki and Hyogo Prefectures (see Appendix for distribution), there are plants with broad and matt thalli of a blackish

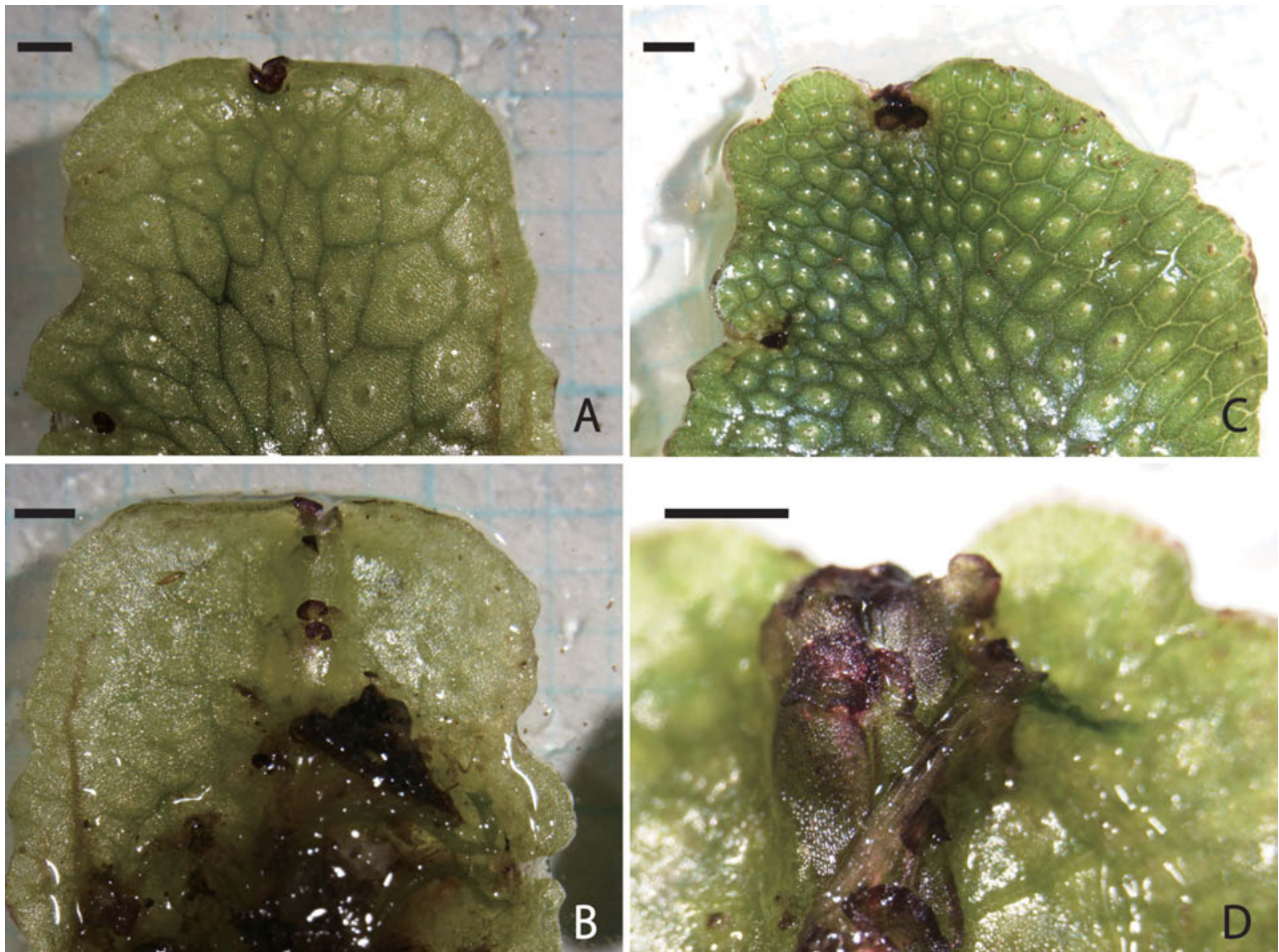


Figure 4. *Conocephalum orientalis*. Plants without winter buds (Tokunoshima Island, Akiyama 25908; A and B), and those with winter buds (Amami-Oshima Island, Arangachi Fall, Akiyama 24421; C and D). Scale bars = 1 mm.

yellow-green color. The grooves between air chambers (areolae) are wide and blackish-green in color. This form is tentatively named as “J3 type” hereafter. The J3 type is more common than the usual *Conocephalum orientalis* in the mountain areas in Hokkaido and the northern Tohoku District (Mr. Uchida, personal communication). Another good feature of the J3 type is the color of the underside of the wide thalli, which is tinged orange to reddish-purple even in summer (Plate 2, H–L).

The J3 type of *Conocephalum orientalis* is sometimes difficult to distinguish from the Eastern Japanese form of *C. purpureorubrum*, because they share a similar appearance, such as the matt and yellowish green color of the upper surface of the thallus, reddish purple color of the lower surface of the thalli even in summer, and thick walls of upper epidermal cells of the thalli. The larger areolae (1/2 or more of the width of the air chamber) compared to those of Eastern Japanese form *C. purpureorubrum* (less than 1/2) can be a useful feature to separate these

two species.

Note 7 (Ecological form, small plants). There are plants of *Conocephalum orientalis* with smaller thalli, which look similar to *C. toyotae*. They have much narrower areole (air chamber) than usual plants even at the central portions along the costa. Such plants have been found at lowlands, such as Nambucho, Yamanashi Prefecture, Kamigori-cho, Hyogo Prefecture, Yakushima Island and Tokunoshima Island, Kagoshima Prefecture, and Kunigami Village, Okinawa Prefecture. Especially in Yakushima Island, such smaller plants prevail along streams at lower elevations, and larger, normal plants are restricted to the higher elevations. Based on preliminary results using *psbA-trnH* sequences, there is a slight genetic differentiation between the two types.

Note 8 (Plants without winter buds). In Amami-Oshima and Tokunoshima Islands (Kagoshima Prefecture), a different type of plants is commonly found. One of the characteristic features of such plants is the absence of winter buds at the apical parts

of the thallus lobes, even in winter season (Fig. 4). Previous study based on allozymes (Isono et al., 1999) reported unique alleles from these local populations. Plants growing in subtropical regions, such as Ryukyu Archipelago and Taiwan, also do not produce winter buds and continue their growth even in winter. Their DNA markers (*rbcL* and *rps4*), however, do not differ from the typical ones.

Note 9 (*Conocephalum* used as human food materials). Some Japanese bryologists cook whole thallus of *Conocephalum orientalis* in heated oil and eat them as if they were potato chips. The unique aroma is extinguished by heating, and the taste is similar to that of dried seaweed laver, “nori”.

2. *Conocephalum purpureorubrum* H. Akiyama, n. sp.

Figs. 2 (D, E), 3 (C, D), 5 (A, D), 6 (A–D), Plates 3 (A–J), 4 (A–I), 8 (E–L), 10 (B)

Protologue: Upper surfaces of thalli matt and yellowish green, or slightly shiny and blackish green. Upper epidermal cells of thalli with thin or thick walls. Lower surface of thalli reddish purple even in summer, with dense rhizoids.

Type: JAPAN, Oita Prefecture, Saiki-shi, Honjyo, Inoue, 70 m elev., 34.943661° N, 131.743191° E, 13 March 2018, H. Akiyama 25427 (holotype HYO, isotypes HIRO, NICH, TNS).

Previous names: *Conocephalum conicum* FS type (Akiyama and Hiraoka 1994a, b). *Conocephalum conicum* F type (Kim et al., 1996, 2001; Akiyama et al., 1998; Miwa et al., 2005; Akiyama, 2006, 2014; Ludwiczuk et al., 2013; Miyatake et al., 2018), *Conocephalum conicum* KYT and YFS types (Kim et al., 1996, 2001).

Japanese Name: Urabeni-jyagoke.

Etymology: Species epithet is descriptive of the reddish purple color of the lower surface of thalli even in summer season.

Description: **Plants** perennial, small to large, with slight forest scent, quite rarely with Matsutake mushroom scent, dull and yellowish green (Western Japanese form) or slightly shiny and blackish green (Eastern Japanese form), 6–16 mm wide, to 15 cm long; undersurface reddish purple even in summer seasons. **Thalli** relatively thin, except along the costa, flat, margins plane; surfaces coarsely and regularly areolate with air chambers, with deeply impressed lines of grooves between air chambers; mucilage canals well developed, 3–4 in numbers; with 2–3 (–4) rows of unistratose portion at thallus margins.

Areole hexagonal, becoming smaller towards the margins, narrower and slightly longer along costa, with a pale, more or less elevated pore in the center. **Pores** small, mostly round. **Areolae** small, occupying ca. 1/3 of the width of areole (air chamber) (Plate 3, I, J). **Epidermal cells** long rectangular in section, with upper cells with thin (Western Japanese form) or thick walls (Eastern Japanese form). **Mucilage cells** of aerenchyma and ventral tissue often present (20 lacking out of 43 specimens examined). **Rhizoids** abundant on wings and costae. **Ventral tissues** solid, except for the presence of 3–4 mucilage canals, often with symbiotic fungi. **Ventral scales** in two rows, usually large, rarely small in size; appendages reniform to almost circular, margins entire or undulate, 0.28–0.80 × 0.30–1.10 mm. **Asexual reproduction** lacking.

Dioicous. **Female carpocephala** with fertilized sporophytes medium in sizes, conical with obtuse apices (Plate 7, B); with a number of short mucilage canals in aerenchyma; epidermis in 1–2 (–3) layers (Western Japanese form) or (1–) 2–3 layers (Eastern Japanese form); with stalks 3–6 cm in length when discharging spores, colorless. **Elaters** variable in size and shape, 100–350 μm in length, 10–38 μm in width. **Spores** 70–110 μm in longer diameter.

Habitat: *Conocephalum purpureorubrum* can grow in drier habitats than *C. orientalis*, but tends to grow in more humid habitats when it grows with *C. salebrosum*. As for how these three species separate their microhabitats when they grow sympatrically, a case study at Mt. Takao (Tokyo Metro.) is useful (Akiyama and Hiraoka, 1994a).

Distribution: Southern China, South Korea, Taiwan, Japan (Honshu, Shikoku, Kyushu, Okinawa). The northern limit of *Conocephalum purpureorubrum* in Japan is the central part of Fukushima Prefecture in Honshu, and the southern limit is the northern part of Okinawa Island (Yasuda, Kunigami Village). It is almost absent from the Japan Sea side of Honshu (Hokuriku, Kinki and Chugoku Dist.).

Note 1 (Variation of plant appearance). When growing in a darker place such as along small streams in dense *Cryptomeria japonica* plantations [e.g., Aikawa, Tokushima Prefecture and Nagasaka, Nabari-shi, Mie Prefecture], thalli of *Conocephalum purpureorubrum* become smaller and thinner than usual, and it is rather difficult to distinguish it from poorly developed *C. salebrosum*.

Note 2 (Slower regrowth). Regrowth from winter buds in early spring of *Conocephalum*



Figure 5. Difference in plant appearance of the 4 species of *Conocephalum* in mixed populations. A: Western Japanese form of *C. purpureorubrum* (FW) and *C. salebrosum* (S), Mie Pref., Akame. B: *C. orientalis* (J) and *C. salebrosum* (S), Hiroshima Pref., Taishaku-kyo. C: *C. toyotae* (R) and *C. salebrosum* (S), Toyama Pref., Arimine. D: Western Japanese form of *C. purpureorubrum* (FW) and *C. orientalis* (J), Miyazaki Pref., Kobuse. Scale bar = 1 cm.

purpureorubrum occurs about half a month later than the other 3 species in central Japan. This difference is maintained even when plants are cultivated in the same environment, and thus some underlying genetic background is expected for such difference in the onset of growth.

Note 3 (Western and Eastern Japanese forms). Among the Japanese plants (including a few Taiwanese plants), for which I was able to observe by living conditions, there are two distinct forms in *Conocephalum purpureorubrum*: One is matt, yellowish green thalli of plants growing in the western part of Japan, and the other is slightly shiny, blackish green thalli of plants growing in the eastern part Japan. The Taiwanese plants are similar to the eastern Japanese form in their slightly shiny appearance.

Based on allozyme analyses, such a difference has already been noted in *Conocephalum purpureorubrum* (Akiyama and Hiraoka, 1994a). Kim et al. (1996)

further suggested that there was an additional form from the Yakiyama population (Fukuoka Pref., western Japan). However, I was unable to distinguish it from the usual Western Japanese form, even using highly variable *psbA-trnH* sequences.

All the studied samples of *Conocephalum purpureorubrum* form a single, well supported monophyletic clade in the analyses using *rbcL* and/or *rps4* sequences (Akiyama and Odrzykoski 2020). But, using the more variable *psbA-trnH* (including hyper repeated portions), two forms can be recognized. They are referred as the Western Japanese form (FW) and the Eastern Japanese form (FE) hereafter. These two forms also can be distinguished by their morphological features as described above and in the “Key to the two forms of *C. purpureorubrum*” below. Spore shape and size do not differ between them. Although *C. purpureorubrum* has been reported from a wide area of eastern Asia (Odrzykoski et al. 1991;

Miwa et al. 2009), I have not been able to study plants outside of Japan and Taiwan in this survey. Further study of the samples collected from all over its wide distributional range in East Asia is needed to fully understand the variability.

Key to the two forms of *C. purpureorubrum*

1. Thalli distinctly matt, yellowish green. Upper epidermal cells of thalli with thin walls. Distributed in western part of Japan (from western part of Aichi Pref. to north of Okinawa Island).
.....Western Japanese form (FW)
1. Thalli slightly shiny, blackish green. Upper epidermal cells of thalli with thick walls. Distributed in eastern Japan (from Fukushima Pref. to eastern part of Aichi Pref.) and Taiwan.
.....Eastern Japanese form (FE)

Western Japanese form (FW)

Figs. 3 (C), 5 (A, D), 6 (A, B), Plates 3 (A–J), 8 (I–L)

Japanese name: Saigoku-urabeni-jyagoke

Description: Thalli broad and rather thin, matt, yellowish green. Upper epidermis of thalli with thin walls. Underside of thalli not shiny. Underside of younger thalli mostly reddish purple in color, rarely green but soon turning into reddish purple in late summer.

Habitat: The Western Japanese form of *Conocephalum purpureorubrum* usually grows on soil away from streams. It sometimes grows mixed with *C. orientalis* (e.g. Akame Gorge, Nara Prefecture; Obtuse Waterfall, Miyazaki Prefecture; Todoroki Waterfalls, Tokushima Prefecture), but the latter can be distinguished by the distinctive luster of the thalli with green color and larger size of female receptacles, if they are present.

Distribution: Japan; Honshu (from western Aichi Pref. to Yamaguchi Pref.), Shikoku, Kyushu, and northern Okinawa Island (Yanbaru, mountain areas of Kunigami District).

Specimens examined: See Appendix.

Note 1 (Black strands on dorsal surface of thalli). Blackish green strands are sometimes present in the middle of the dorsal surface of plants because of the deep reddish purple color at the center of the underside and ventral scales. The plant illustrated by Akiyama (2014; Fig. 4, erroneously treated as “*Conocephalum salebrosum*” there) is a good example.

Note 2 (Difference from *Conocephalum orientalis*

J3 type). Western Japanese form rarely looks similar to the J3 type of *C. orientalis* (Fig. 2 B, C). Smaller size of areolae (air pores and surrounding transparent part) and thin walls of upper epidermal cells of thalli in the Western Japanese form can be used to separate these two species.

Eastern Japanese form (FE)

Figs. 3 (D), 6 (C, D), Plates 4 (A–I), 8 (E–H)

Japanese name: Azuma-urabeni-jyagoke

Description: Plants about as wide as those of *Conocephalum orientalis*, but somewhat thinner; surfaces of thalli slightly shiny and blackish green. Upper epidermis of thalli with thick walls. Grooves between air chambers are rather wide and deeply depressed. Underside of thalli reddish purple throughout the year, and the grooves between air chambers appearing darker in color when viewed from the surface.

Habitat: Though sometimes growing along streams, it usually forms population on soil of valley slopes far from the water.

Distribution: Japan; Honshu (from central part of Fukushima Prefecture to the eastern part of Aichi Prefecture). Taiwan.

Specimens examined: See Appendix.

Note 1 (Variation of plant color). Plants of the Eastern Japanese form of *Conocephalum purpureorubrum* rarely become more or less matt and yellowish green, as in the Western Japanese form when growing in drier habitats.

Note 2 (Color of grooves). Deep and blackish grooves between air chambers are not found in the Japanese *C. salebrosum*, and this feature is thus useful to distinguish the two species in the Kanto District, where both species often grow in close proximity.

3. *Conocephalum salebrosum* Szweyk., Buczk. & Odrzyk., Pl. Syst. Evol. 253: 146 (2005).

Figs. 2 (F, G), 3 (E, F), 5 (A, C), Plates 5 (A–K), 8 (M–P), 11 (A)

Type: POLAND, Western Carpathians, Tatry Mountains, Kościeliska Valley, Wąwóz Kraków gully; on moist humus covering shady calcareous rocks, alt. 1050 m; 26 April 2002, coll. K. Buczkowska and A. Baczkiewicz s.n. (holotype POZW, not seen).

Previous names: *Conocephalum conicum* S type (Szweykowski et al., 1981; Odrzykoski and Szweykowski, 1991; Akiyama et al., 1998; Kim et al., 2001; Miwa et al., 2005), *Conocephalum conicum* T type (Akiyama and Hiraoka, 1994a, b; Kim et al.,

2001).

Japanese name: Takao-jyagoke.

Etymology: Species epithet “*salebrosum*” is derived from the uneven surface of the upper epidermis of thalli, comparing to those with quite flat surface of *C. conicum* s. str. (formerly known as L type) in Europe (Szweykowski et al., 2005).

Description (Mainly based on Japanese and Taiwanese plants): **Plants** perennial, small to medium, matt, pale yellowish green, often becoming much smaller and thinner when growing on limestone walls or shaded calcicolous soil; dorsal blackish lines along costa absent; ventral surfaces pale green, rarely slightly shiny and tinged with reddish purple when growing at higher elevations in Taiwan; with slightly musty scent, often odorless when growing on drier substrates. **Thalli** 6–15 mm wide, to 10 cm length, thin, flat, margins plane; surfaces coarsely and regularly areolate with air chambers, with shallow grooves; mucilage canals well developed, more than 3

in number; with 2–3 (–4) rows of unistratose portion at thallus margins. **Areole** not becoming smaller towards the thallus margin. **Pores** small, mostly round. **Areolae** small, occupying 1/3 of areole width. **Epidermal cells** rectangular, with thin upper walls, becoming smaller towards the central portion along costae. **Mucilage cells** of aerenchyma and ventral tissue almost always present, even in older portion of thalli (present in 42 of 44 samples examined). **Ventral tissues** solid, except for the presence of 3–5 mucilage canals along costa, often with symbiotic fungi. **Rhizoids** often few, mostly restricted to central portion along costae. **Ventral scales** in two rows mostly small in size; appendages small, rarely large, almost circular to reniform, margins entire or undulate, 0.25–0.60 × 0.35–1.10 mm. **Asexual reproduction** lacking in Japan.

Dioicous. **Female carpocephala** with fertilized sporophytes medium in size with a number of short mucilage canals in aerenchyma; sharply pointed



Figure 6. Western Japanese form (Miyazaki Pref., Hinokage-cho, Matsumoto s.n.: A and B) and Eastern Japanese form (Gunma Pref., Naganohara-machi, Nakazawa 3398; C and D) of *Conocephalum purpureorubrum*. Scale bars = 1 cm.

(Plate 7, D) for Japanese plants but with obtuse tops in Taiwanese plants (refer Note 3 below); epidermis in 1–2 layers; with stalks 3–4 cm in length when discharging spores, colorless. **Elaters** mostly short and thick, 85–250 µm in length, 10–45 µm in width. **Spores** smaller in size than the other three species of *Conocephalum* in Japan, 60–100 µm in longer diameter.

Habitat: *Conocephalum salebrosum* is distributed nationwide except for Kagoshima and Okinawa Pref., but in western Japan it is almost always restricted to limestone areas, especially around cave entrances where cool and moist air regularly blows from the caves throughout the year. This may have something to do with the fact that *C. salebrosum* is distributed mainly at higher elevations and higher latitudes in the world.

Both mucilage canals along costal regions and mucilage cells in wings are much more developed and more numerous than the other 3 species in Japan. Since *Conocephalum salebrosum* often grows at basal parts of vertical limestone cliffs, the presence of such structures containing a lot of mucilage may contribute to desiccation resistance in such dry habitats.

Distribution: Pan-boreal, widely distributed at higher latitudes in the northern hemisphere. In Japan, *C. salebrosum* has been found from Rishiri Island, Hokkaido Prefecture to Hitoyoshi City, Kumamoto Prefecture. Among our collections in East Asia, it has been collected from higher elevations; for example above 2000 m in elev. in central Taiwan and Yunnan, China.

Szweykowski et al. (2005) cited a number of specimens of *Conocephalum salebrosum* from Asia, including Japan. Their identification was, however, based on morphology. Judging from a re-examination of the specimens they cited, their identification is often erroneous because the differences between 1) *C. salebrosum* and 2) *C. orientalis* or *O. purpureorubrum* were not clearly recognized at that time.

Specimens examined: See Appendix.

Note 1 (Comparison between European and Asian populations). In Europe, where *Conocephalum salebrosum* was first recognized as S (smaller) type of *C. conicum s. lat.*, plants that were narrower, less shiny, and had more uneven surfaces of thalli than *C. conicum s. str.* [= L (larger) type] were thought to be characteristic of *C. salebrosum*.

Plants of *Conocephalum salebrosum* from Japan and Taiwan and those from other parts of Europe, America, and Asia share the same DNA sequences

and cannot be distinguished (Akiyama and Odrzykoski 2020), but the extent of morphological differentiation among them has not been examined sufficiently. For example, the shapes of fertilized female carpocephala were different between Japanese plants and the others, as described above. Since *C. salebrosum* is a pan-boreal, globally distributed species of the northern hemisphere, it is expected to have a high degree of genetic and morphological diversity within its distribution areas. Plants identified as *C. salebrosum* (for example, Iqbal et al. 2011) in some local monographs of northern India suggest that probably there is another taxon with different morphological features.

The lower structure of the air pores on the female carpocephala is used as one of the features to distinguish *C. conicum s. str.* from *C. salebrosum* (Szweykowski et al., 2005). However, though this structure is very difficult to observe, as far as I have been able to confirm, it is not stable even within a species among the 4 Japanese species (Akiyama and Odrzykoski, 2020).

Note 2 (Variation in thickness of thallus). Especially when growing on vertical limestone cliffs, thalli of *Conocephalum salebrosum* often become very thin, like a paper. Similarly, in damp and dark conditions (e.g., a little inside the entrance to a limestone cave), thalli also become smaller and thinner. Good examples are populations under the Onbashi of the Taishakukyo ravine (Hiroshima Prefecture), the Ubusune-no-hokora, Hiraodai Plateau (Fukuoka Prefecture) in Japan.

Note 3 (Sharp apices of female carpocephala). Female carpocephala are rare in this species; so far, they have been found at Gokoku Shrine, Ibaraki Pref., Mt. Takao, Tokyo Metro., Arimine Lake, Toyama Pref., Ina-shi and Mt. Nyugasa, Nagano Pref., and Taishakukyo, Hiroshima Pref. in Japan. Sharply pointed apices of developed carpocephala are unique among *Conocephalum* species, which are bluntly round in *C. orientalis*, helmet-shaped in *C. toyotae*, and narrowly round with slightly flattened tips in *C. purpureorubrum*. Therefore, carpocephala shape can be used as one of the good features to distinguish *C. salebrosum* from the other 3 species, even if they are rarely produced.

Unfortunately, Szweykowski et al. (2005), who studied the morphology of the European *C. salebrosum* in detail, gave no description relating to the shape of female carpocephala. Examining the photographs of living plants and dried herbarium

specimens, they are blunt-headed, and none of them have sharply pointed apices as in the Japanese plants. A single specimen of *C. salebrosum* from Ren'ai township, Mt. Hehuanshan, Taiwan (*H. Akiyama 25616*; HYO) had blunt apices on its carpocephala.

Note 4 (Resemblance to *Wiesnerella* in sterile condition). Sterile plants of *Conocephalum salebrosum* without male or female sexual organs can easily be mistaken for *Wiesnerella denudata* (Mitt.) Steph. in the field. However, they can be distinguished by the difference in glossiness of thallus surface, difference in the shape and color of ventral scales (especially in the appendages). In addition, they have a different scent of thalli when crushed between fingers.

4. *Conocephalum toyotae* H. Akiyama, n. sp.

Figs. 2 (H, I), 3 (G, H), 5 (C), 7 (A, B), Plates 6 (A–J), 8 (Q–S), 11 (B).

Protologue: Air chambers almost similar in size all over the thallus. Upper epidermal cells large in thickness in cross sections with thin outer walls. Mucilage canals absent and almost always no mucilage cells developed. Female carpocephala with fertilized sporophytes helmet-shaped, with round apices.

TYPE: JAPAN, Hyogo Pref., Yabu-shi, Oya-cho, Yokoiki valley, 700 m elev., 35.325840° N, 134.544164° E, 30 March, 2021, *H. Akiyama 26610* (holotype in HYO, isotypes distributed as exiccatae “Bryophytes of Asia” from HIRO)

Previous names: *Conocephalum conicum* R type (Miwa et al., 2010; Miyatake et al., 2018; Akiyama and Odrzykoski, 2020). *Conocephalum conicum* Chemotype III (Toyota et al., 1997; Toyota, 2000; Kim et al., 2001).

Japanese name: Matsutake-jyagoke

Etymology: Species epithet honors Prof. Dr. Masao Toyota, who first recognized and reported the plants with strong scent of methyl cinnamate contents. Saito (1998) proposed a new name, *Conocephalum fragrans*, but it is a *nomen nudum*, lacking description.

Description: **Plants** with distinct scent of methyl cinnamate (odor of Matsutake mushroom), which can be easily lost when dried; slightly shiny, blackish green; underside of thalli usually not becoming reddish purple except for over-winter portions. **Thalli** 8–15 mm wide, to 10 cm length, thin except along costa, flat, margins plane; surfaces coarsely and regularly areolate with air chambers, with deep grooves (Fig. 3, G–H, Plate 8, Q–S); with 1–2 (–3)

rows of unistratose portion at margins. **Areole** (air chamber) small but not becoming narrower and longer at central parts along costae, thus giving a unique appearance of uniform areole size throughout the thalli; with deep grooves between air chambers. **Areolae** large, mostly occupying 1/2 of width of areole. **Epidermal cells** short rectangular, more or less bulging, thick in cross section, with thin upper walls. **Mucilage cells** of aerenchyma and ventral tissue almost always absent (present in a single specimen out of 30 examined). **Ventral tissues** solid, without mucilage canals. **Rhizoids** dense and abundant on wings and costa of ventral surface. **Ventral scales** arranged in two rows, often small, sometimes large in size; appendages reniform to almost circular, margins entire or undulate, 0.27–0.80 × 0.36–0.80 mm. **Asexual reproduction** lacking.

Dioicous. **Female carpocephala** with fertilized sporophytes helmet-shaped with round apices; with a few, short mucilage canals in aerenchyma; epidermis in 2 (–3) layers; with stalks 3–6 cm in length when discharging spores, slightly greenish. **Elaters** variable in size and shape, 100–300 μm in length, 8–30 μm in width. **Spores** 70–120 μm in longer diameter.

Habitat: *Conocephalum toyotae* often grows in disturbed habitats, such as close to human settlements and roadside banks at forest edges. Though it can form pure colonies, it often grows as small patches within large populations of *C. orientalis*.

Distribution: USSR (Sakhalin; Miwa et al. 2014 as R type), Japan (Hokkaido, Honshu, Shikoku). Probably widely distributed in Far East Asia, especially at higher latitudes.

Specimens examined: See Appendix.

Note 1 (Scent of Matsutake mushroom). *Conocephalum toyotae* has a strong odor of Matsutake mushroom (mainly caused by methyl cinnamate), and this is one of the most characteristic features of the species, and with a fresh plant in your hands, it will not be mistaken for any of the other 3 Japanese species. If it does not smell so much, especially in autumn and winter, check the distinct scent by rubbing a small amount of thalli between your fingers.

Conocephalum conicum A type (including C type) and *C. salebrosum* from North America (Odrzykoski and Szwejkowski, 1991; Akiyama and Odrzykoski, 2020) have a large amount of methyl cinnamate as a volatile component and have been reported to have a strong scent of Matsutake mushroom, as in the case of *C. toyotae* (Ludwiczuk et al. 2013). Unfortunately, I did not have a chance to examine living fresh plants

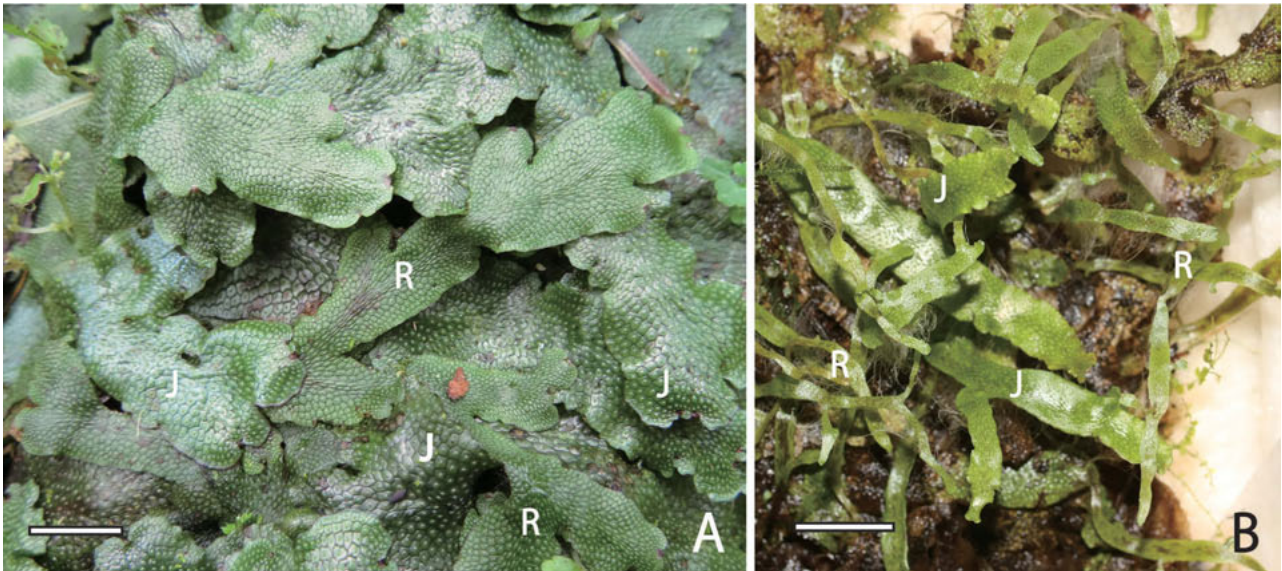


Figure 7. Mixed population (Tokushima Pref., Katsuura-machi) of *Conocephalum toyotae* (R) with *C. orientalis* (J). A: Mixed plants in the field (17 Nov. 2018). B: Spindly growth of both *C. toyotae* (R) and *C. orientalis* grown in a sealed plastic cup cultivated over three months. Note that *C. toyotae* has much narrower spindly shoots than *C. orientalis*. Scale bars = 1 cm.

of the A type, so I cannot confirm whether they have a similar smell of *T. toyotae* or not. Molecular phylogenetic analysis indicates that *C. conicum* A type and *C. toyotae* are not closely related to each other (Akiyama and Odrzykoski, 2020).

Note 2 (Variation in plant appearance). Thalli of *Conocephalum toyotae* are blackish green in color and somewhat shiny. They are narrower than those of *C. orientalis*, which often form mixed populations with *C. toyotae*. The underside of the thalli of *C. toyotae* is green to reddish purple, but becomes deep reddish purple in late autumn and winter. Air chambers are almost all the same size and do not become larger towards the central parts along costae. Since areolae occupy more than 1/2 the width of the air chambers in *C. toyotae*, it gives the appearance that white areolae are distributed densely throughout the thallus surfaces in this species. Both male and female plants seem to be abundant in Japan, and female carpocephala with fertilized sporophytes are often encountered.

Conocephalum toyotae is rather stenotypic and shows little variation in morphological features comparing to the other 3 Japanese species. Genetic differentiation is also the least among the 4 species in Japan (Akiyama and Odrzykoski, 2020).

Note 3 (Absence of mucilage canals). Mucilage canals, which are well developed in the other 3 species of *Conocephalum* in Japan, are not differentiated at all in *C. toyotae*. Fungi that coexist within the thalli of *C. conicum/salebrosus* complex tend to settle

in the mucilage canals and their surrounding cells, suggesting that *C. toyotae* might have a different life strategy in terms of symbiosis to the other 3 species.

Note 4 (Distribution pattern). *Conocephalum toyotae* was first reported from trailsides banks in moist and shaded *Cryptomeria japonica* plantation in a deep ravine in Tokushima Prefecture, Shikoku District (Toyota et al., 1997; Toyota, 2000). The present study reveals, however, it is mainly distributed on the Japan Sea side of Honshu District (from Niigata Prefecture to Shimane Prefecture) and sporadically in Shikoku District (Plate 11, B), a distribution pattern similar to that of the moss *Hypnum cupressiforme* Hedw. (Ando 1987). Such a distribution pattern is believed to be correlated to the Japan Sea climate (Suzuki 1962). Judging from the larger epidermal cells with thin outer walls as well as the absence of mucilage canals and mucilage cells in aerenchyma and ventral tissues, *C. toyotae* may be vulnerable to drought. This may be a reason why *C. toyotae* is restricted to areas with the Japan Sea climate is developed, where snow-cover during winter aids survival of the species.

Note 5 (Succulent shoots). When a sample of a mixed population of *Conocephalum toyotae* and *C. orientalis* is grown in the same over-humid environment (e.g., in a sealed plastic case), *C. orientalis* produces wide, ribbon-like long succulent shoots (Maybrook, 1914), while they are quite narrow in *C. toyotae* (Fig. 7, B). This difference is probably due to the different size of the meristematic cells at

the tip of their thalli. It was reported that the volatile components change drastically in such succulent plants in artificial conditions and no longer methyl cinnamate is produced in *C. toyotae* (Ab Ghahi et al., 2016; Miyatake et al., 2018).

Acknowledgments

I am deeply grateful to Prof. Dr. Ireneusz J. Odrzykoski (Adam Mickiewicz University, Poland), Dr. Masao Toyota and Dr. Yoshinori Asakawa (Tokushima Bunri University, Japan), Dr. Jia-Dong Yang and Dr. Kuei-Yu Yao (Endemic Species Research Institute, Taiwan), Ms. Yu-Feng Yang (Taichung, Taiwan) Dr. David Wagner (Oregon, U.S.A.) for their kind help during the present study. Most of the samples used in this study are kindly provided by a total 65 members of the “Jagoke Exploring Team”, especially Mr. Akitomo Uchida (Hokkaido Pref.), Mr. Yasuyuki Oppata (Hokkaido Pref.), Mr. Ken’ichi Izumida (Hokkaido Pref.), Mr. Mitsuru Sawada (Aomori Pref.), Ms. Emina Tamagawa (Aomori Pref.), Ms. Sachiko Sato (Iwate Pref.), Ms. Keiko Kato (Miyagi Pref.), Dr. Shuichi Nemoto (Fukushima Pref.), Mr. Kazunori Nakazawa (Gunma Pref.), Dr. Mihoko Uzawa (Ibaraki Pref.), Dr. Tatsuwo Furuki (Chiba Pref.), Mr. Hidehiko Ikeda (Tokyo Metr.), Ms. Arisa Yoshida (Tokyo Metr.), Mr. Taeko Yoshimura (Tokyo Metr.), Ms. Shino Suzuki (Tokyo Metr.), Mr. Hidesaku Ishiko (Tokyo Metr.), Ms. Ayako Washimi (Kanagawa Pref.), Mr. Hitoshi Suzuki (Kanagawa Pref.), Dr. Hitoshi Shirasaki (Niigata Pref.), Mr. Moriyasu Ota (Nagano Pref.), Mr. Masahiro Shimadate (Nagano Pref.), Dr. Naoko Sakai (Toyama Pref.), Dr. Yoshitaka Oishi (Fukui Pref.), Mr. Takao Kawakami (Aichi Prefecture), Ms. Fumi Noda (Aichi Pref.), Mr. Akihiro Sakuragi (Aichi Pref.), Dr. Nana Morita (Mie Pref.), Dr. Yasuhiro Ohshima (Mie Pref.), Dr. Tomoko Fukuda (Mie Pref.), Mr. Yuzuru Kasai (Shiga Pref.), Mr. Masakuni Kimura (Nara Pref.), Dr. Hiroshi Doei (Wakayama Pref.), Mr. Hisashi Tsuji (Osaka Pref.), Mr. Tounosuke Kano (Osaka Pref.), Mr. Shukuichi Sakiyama (Osaka Pref.), Ms. Hisako Fujii (Hyogo Pref.), Mr. Kenji Nakazato (Hyogo Pref.), Mr. Takeshi Saeki (Hyogo Pref.), Mr. Masaki Michimori (Hyogo Pref.), Ms. Mayumi Saji (Tokushima Pref.), Mr. Kazutaka Iwata (Ehime Pref.), Dr. Naoki Nishimura (Okayama Pref.), Ms. Megumi Chishiki (Okayama Pref.), Ms. Eiko Tamura (Okayama Pref.), Ms. Naomi Nishihira (Okayama Pref.), Dr. Tomio Yamaguchi (Hiroshima Pref.), Mr.

Masanori Hayashi (Yamaguchi Pref.), Ms. Atsuko Kato (Tottori Pref.), Mr. Tsuguoki Tango (Shimane Pref.), Mr. Atsushi Tanaka (Fukuoka Pref.), Ms. Keiko Honda (Fukuoka Pref.), Mr. Toshiyuki Ohya (Saga Pref.), Ms. Mitsu Matsumoto (Miyazaki Pref.), Mr. Hiroshi Ohara (Kagoshima Pref.) and Mr. Nobuaki Hayashida (Kagoshima Pref.). I am also much debt to Mr. Tadahide Mizuma (Kagoshima Pref.) for his help in the field survey in Amami-Oshima Isl. Without their contributions, this research cannot be completed. I am also indebt to Dr. Rod Seppelt (Bundall, Queensland and Macquarie University, Australia) for linguistic corrections of the text, and an anonymous referee for the valuable suggestions. This study was financially supported by JSPS KAKENHI no. 24570108 and no. 16K07488 to the author.

References

- Ab Ghahi, N., Ludwiczuk, A., Ismail, N. H. and Asakawa, Y. (2016) Volatile components of the stressed liverworts *Conocephalum conicum*. *Natural Product Communications*, **11**, 103–104.
- Akiyama, H. (2006). New information on the Japanese *Conocephalum conicum* complex. *Bryological Research*, **9**, 88–91. [In Japanese]
- Akiyama, H. (2014). Wonderful moss world, 14. Conocephalaceae and Dumortieraceae (Hepaticae). *Bryological Research*, **11**, 19–24. [In Japanese]
- Akiyama, H. and Hiraoka, T. (1994a) Allozyme variability within and divergence among populations of the liverwort *Conocephalum conicum* (Marchantiales: Hepaticae) in Japan. *Journal of Plant Research*, **107**, 307–320.
- Akiyama, H. and Hiraoka, T. (1994b) Notes on the *Conocephalum conicum* complex in Japan. *Bryological Research*, **6**, 94–97. [In Japanese]
- Akiyama, H., Hiraoka, T. and Inoue, S. (1998) Chromosome numbers and karyotypes of three sibling species of the *Conocephalum conicum* in Japan. *Bryological Research*, **7**, 105–108.
- Akiyama, H. and Odrzykoski, I. J. (2019) Genetic and morphological differentiation in the genus *Conocephalum* (Hepatics). Abstract. *The Conference of IAB, iMOSS and SEB Royal Botanical Garden (RBG), Madrid*, July 9–12th, 2019.
- Akiyama, H. and Odrzykoski, I. J. (2020) Phylogenetic re-examination of the genus *Conocephalum* Hill. (Marchantiales: Conocephalaceae). *Bryophyte Diversity and Evolution*, **42**, 1–18.
- Akiyama, H. and Matsumoto, M. (2021). Taxonomical and ecological notes on Asian bryophytes, 35: Newly

- discovered winter buds of *Sandea japonica* Steph. ex Yoshin. with comparison to those of the genus *Conocephalum*. *Bryological Research*, **12**, 182–187. [In Japanese]
- Ando, H. (1987) Intraspecific differentiation, variation and distribution of *Hypnum cupressiforme* Hedw. in Japan. *Papers on plant ecology and taxonomy to the memory of Dr. Satoshi Nakanishi*, 489–503.
- Asakawa, Y., Matsuda, R. and Takeda, R. (1981) Mono- and sesquiterpenoids of *Conocephalum supradecompositum*. *Phytochemistry*, **20**, 1423–1424.
- Bolleter, E. (1905) *Fegatella conica* (L.) Corda. Eine morphologisch-physiologische Monographie. *Beiheft zum botanischen Centralblatt* Abt I, **18**, 327–408.
- Carré, C. G. and Harrison, R. W. (1961) Studies on vesicular-arbuscular endophytes. III. An endophyte of *Conocephalum conicum* (L.) Dum. identified with a strain of *Pythium*. *Transactions of the British Mycological Society*, **44**, 565–572.
- Cavers, F. (1904) On the structure and biology of *Fegatella conica*. *Annals Botany*, **18**, 87–120.
- Clee, D. A. (1943) The morphology and anatomy of *Fegatella conica* in relation to the mechanism of absorption and conduction of water. *Annals Botany, N. S.*, **26**, 185–193.
- Grolle, R. (1984) Miscellanea Hepaticologica 221–230. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, **55**, 501–511.
- Iqbal, M., Langer, A. and Alam, A. (2011) *Conocephalum conicum* (L.) Dumort. (Snake Liverwort) threatened in Bhaderwah (J & K) due to Environmental Shock. *American Journal of Plant Sciences*, **2**, 554–560.
- Isono, H., Akiyama, H. and Yamaguchi, T. (1999) Allozyme variability and divergence within and among populations of *Conocephalum conicum* (Conocephalaceae, Hepaticae) from Kyushu and the Ryukyu Islands. *Hikobia*, **13**, 97–112. [In Japanese]
- Kim, H. N., Harada, K. and Yamazaki, T. (1996) Isozyme polymorphism and genetic structure of a liverwort *Conocephalum conicum* in natural populations of Japan. *Genes and Genetic Systems*, **71**, 225–235.
- Kim, H. N., Nitasaka, E., Odrzykoski, I. J. and Yamazaki, T. (2001) Phylogenetic relationships among taxa of the *Conocephalum conicum* (Conocephalaceae) revealed by *psbA* sequence. *Genes and Genetic Systems*, **76**, 279–288.
- Kitagawa, N. 1982. A study of *Conocephalum supradecompositum*, Marchantiales, Hepaticae. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, **33**, 179–189.
- Kobiyama, Y. and Crandall-Stotler, B. (1999) Studies of specialized pitted parenchyma cells of the liverwort *Conocephalum* Hill and their phylogenetic implications. *International Journal of Plant Science*, **160**, 351–370.
- Ludwiczuk, A., Odrzykoski, I. J. and Asakawa, Y. (2013) Identification of cryptic species within *liverwort Conocephalum conicum* based on the volatile compounds. *Phytochemistry*, **95**, 234–241.
- Maybrook, A. C. (1914) Note on the biology of *Fegatella conica*. *New Phytologist*, **13**, 43–249.
- Miwa, H., Suhara, J., Kitagawa, N. and Murakami, N. 2003. Biosystematic study of Japanese *Conocephalum japonicum* (Hepaticae) based on *rbcL* sequence and allozyme data. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, **54**, 37–48.
- Miwa, H., Hsu, T.-W., Cheng, X., Suhara, J. and Murakami, N. 2004. Molecular systematic study of Asian *Conocephalum japonicum* (Hepaticae). *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, **55**, 9–18.
- Miyatake, H., Akiyama, H., Asakawa, Y. and Okamoto, Y. (2018) Geographical Distribution of Volatile Components in the Liverwort, *Conocephalum conicum*. *Proceeding of 62nd TEAC* (Nagasaki University), **62**, 25–27.
- Odrzykoski, I. J. and Szweykowski, J. (1991). Genetic differentiation without concordant morphological divergence in the thallose liverwort *Conocephalum conicum*. *Plant Systematics and Evolution*, **178**, 135–151.
- Saito, T. (1998) Phytochemical study of liverworts *Conocephalum conicum*, *Chiloscyphus polyanthos*, and *Pallavicinia subciliata*. *MS Thesis of Tokushima Bunri University* [In Japanese].
- Shimamura, M., Yamaguchi, T. and Deguchi, H. (2015) Explosive sperm dispersal in *Conocephalum conicum*. *Journal of Plant Research*, **121**, 69–71.
- Suzuki, H. (1962) The classification of Japanese climates. *Geographical Review of Japan*, **35**, 205–211.
- Szweykowski, J., Odrzykoski, I. J. and Zielinski, R. (1981) Further data on the geographic distribution of two genetically different forms of the liverwort *Conocephalum conicum* (L.) Dum.: the sympatric and allopatric regions. *Bulletin de L'academie Polonaise des Sciences, Serie des sciences biologiques*, **28**, 437–449.
- Szweykowski, J., Buczkowska, K. and Odrzykoski, I. J. (2005) *Conocephalum salebrosum* (Marchantiopsida, Conocephalaceae) - a new holarctic liverwort species. *Plant Systematics and Evolution*, **253**, 133–158.
- Toyota, M. (2000) Phytochemical study of liverworts *Conocephalum conicum* and *Chiloscyphus polyanthos*. *Journal of the Pharmaceutical Society of Japan*, **120**, 1359–1372.
- Toyota, M., Saito, T., Matsunami, J. and Asakawa, Y. (1997) A comparative study on three chemo-types of the liverwort *Conocephalum conicum* using volatile constituents. *Phytochemistry*, **44**, 1265–1270.

Appendix. Examined specimens of 4 species of the *Conocephalum conicum/salebrosus* complex in Japan and Taiwan. All specimens are deposited at the cryptogamic herbarium of Museum of Nature and Human Activities, Hyogo (HYO). Identities of all specimens are confirmed by molecular marker (*rps4* or *psbA-trnH* of chloroplast genome) and/or morphological observation of living plants including specific scent caused by volatile components.

***Conocephalum orientalis* H. Akiyama**

JAPAN.

Hokkaido Pref.: Rishirifuji-cho, Oniwaki, Mt. Rishiri, 600-650 m elev., 45.165644° N, 141.256836° E, 8 Sept. 2018, A. Uchida 20180046 (711); Kuromatsunai-cho, Utasai Forest Park, 50 m elev., 42.652778° N, 140.310278° E, 16 Sept. 2018, Y. Oppata 3702; Urahoro-cho, Atsunai, 80–110 m elev., 42.899850° N, 143.781506° E, 28 April 2018, A. Uchida 20180008 (695); *ibid.*, Higashiyama-cho, 30–40 m elev., 42.80896° N, 143.67161° E, 28 April 2018, A. Uchida 2018004 (688); *ibid.*, Rushin, 210–290 m elev., 43.000753° N, 143.680878° E, A. Uchida 2018007 (693); Shintotsukawa-cho, 120–130 m elev., 43.536733° N, 141.787661° E, 21 July 2019, A. Uchida 20190009; Uryu-cho, 610–630 m elev., 43.871111° N, 141.636389° E, 22 July 2019, A. Uchida 20190043 (759); Shiraoi-cho, Takeura, 37 m elev., 42.5036° N, 141.2315° E, 9 Apr. 2021, K. Izumida 065; Tomakomai-shi, Midorigaoka park, 222 m elev., 42.660278° N, 141.590833° E, 23 Apr. 2020, K. Izumida 025 and 026.

Aomori Pref.: Hirosaki-shi, Sakamoto, Mt. Kudoji, 40.531154° N, 140.423577° E, 450–550 m elev., 20 Aug. 2017, A. Uchida 20170029 (Hirosaki-2); *ibid.*, Osuke, 40.566583° N, 140.339556° E, 125–175 m elev., 22 Aug. 2017, A. Uchida 20170032 (Hirosaki-5); *ibid.*, Hirosaki Park, 38 m elev., 40.6097° N, 140.4646° E, 11 Sept. 2018, M. Sawada 20180911-1; Kuroishi-shi, M. Uzawa 4124; Towada-shi, Tsutanomori, 470 m elev., 40.595967° N, 140.952766° E, 29 Aug. 2014, H. Akiyama 23836; *ibid.*, 40.595278° N, 140.952500° E, 1 June 2018, T. Kano 5918; *ibid.*, Okuse, 40.589444° N, 140.958611° E, 1 June 2018, T. Saeki 4503; *ibid.*, Tsuta-onsen, 480 m elev., 19 Oct. 2018, T. Yamaguchi 39375; Aomori-shi, Mt. Chobosan, 28 Oct. 2017, A. Washimi *s.n.*; Fukaura-machi, Osedo, 118 m elev., 40.733° N, 140.083° E, 29 April 2018, M. Sawada 20180429-1; Sai-mura, Nuidoshiyama, 579 m elev., 41.323293° N, 140.846722° E, 21 Sept. 2018, M. Sawada 20180921; Mutsu-shi, Ohminato, Suigenchi Park, 42 m elev., 41.2579° N, 141.1401° E, 22 May 2018, M. Sawada 20180524-1.

Iwate Pref.: Ichinoseki-shi, Higashiyama-machi, Matukawa, Takinosawa, 38.978833°N, 141.238444°E, 1 Oct. 2019, M. Uzawa 5203.

Miyagi Pref.: Sendai-shi, Aoba-ku, Kamiaiko, 250 m elev., 38.273397° N, 140.692930° E, 15 Nov. 2019, H. Ikeda 702; *ibid.*, Taihaku-ku, Moniwa, Sahoyamanishi, 63 m elev.,

38.2379° N, 140.8169° E, 17 Aug. 2019, Y. Utsumi 190817-1, 2 and 3.

Akita Pref.: Oga-shi, Kitaurashinzan Mizukuizawa, 160 m elev., 39.9294° N, 139.7670° E, 30 Sept. 2019, Y. Asakawa *s.n.*; *ibid.*, Kitaura, 250 m elev., 39.9272° N, 139.7530° E, 24 Oct. 2019, H. Ikeda 700; Noshiro-shi, Hutatsui-machi, Tashiro, 170 m elev., 40.081372° N, 140.251783° E, 22 Oct. 2019, H. Ikeda 699; Yurihonjyo-shi, Chokai-machi, Sarukura, 39.176553° N, 140.160683° E, 4 Oct. 2018, A. Tanaka 20181104-1; Nikaho-shi, Sakigata-machi, in front of a visitor center, on the way to Shishigahana moor, 4 May, 2019, H. Fujii *s.n.*; Higashinaruse-mura, Iwaigawa, Kakkyogawa National Forest, Tensho Fall, 440 m elev., 39.1790° N, 140.7528° E, 18 Aug. 2020, S. Sato, S.S.TSF 3; Yuzawa-shi, Koyasukyo, 269 m elev., 39.009722° N, 140.661111° E, 04 July 2020, M. Chishiki *s.n.*

Yamagata Pref.: Oe-machi, Aterasawa, Hashigami, 195 m elev., 38.3871° N, 140.2114° E, 16 Aug. 2019, H. Fujii 20190816A, B and C; Yonezawa-shi, Shirabu-onsen, 1130 m elev., 37.77144° N, 140.132267° E, 23 Sept. 2019, H. Shirasaki 26636.

Fukushima Pref.: Koriyama-shi, Konan-cho, Hamaji, 624 m elev., 37.440266° N, 140.185729° E, 20 Sept. 2018, N. Morita 6; Tamura-shi, Tokiwamachi, Wasezawa, Mt. Otakineyama, 800 m elev., 37.356667° N, 140.685556° E, 25 Oct. 2020, S. Nemoto 1028.

Ibaraki Pref.: Bando-shi, M. Uzawa 4144; Kitaibaragi-shi, Hanakawa-cho, Hanazono Shrine, 410 m elev., 36.860525° N, 140.628152° E, 9 March 2019, H. Akiyama 25951; Sakuragawa-shi, Motoki, Amabiki Shrine, 190 m elev., 36.3307° N, 140.1216° E, 10 March 2019, H. Akiyama 25974; Kuji-gun, Taishi-cho, Sanuki, Hatuhara river, 36.843333°N, 140.264167°E, 28 Sept. 2019, M. Uzawa 5198;

Tochigi Pref.: Sano-shi, Akiyama-cho, 360 m elev., 36.5472° N, 139.5074° E, 24 March 2018, H. Ikeda 648; Nikko-shi, Sannai, 17 May 2018, Y. Ohshima *s.n.*; Kanuma-shi, Iriawano, Ozaku, 36.5870426° N, 139.5719909° E, 12 May 2018, Y. Ohshima *s.n.*

Gunma Pref.: Naganohara-machi, Kitakaruizawa, 1070 m elev., 36.273597° N, 138.361791° E, 29 April 2018, K. Nakazawa 1132; Nakanoyjo-machi, Iriyama, 1520 m elev., 36.7144° N, 138.6390° E, 23 April 2018, K. Nakazawa 1127.

Tokyo Metro.: Minato-ku, Arisugawanomiya Memorial

Park, 21 Dec. 2017, *S. Suzuki s.n.*; *ibid.*, Takao-cho, Mt. Takao, 6th trail, 380–490 m elev., 35.6250° N, 139.2450° E, 4 Dec. 2017, *H. Akiyama 25268* and *25279*; Uratako-cho, 4 Dec. 2017, *H. Akiyama 25289*; Hachijyo-shi, Isl. Hachijyo, Mt. Mihara, 680 m elev., 16 May 2013, *H. Akiyama s.n.*; *ibid.*, Mitsune, 300 m elev., 33.10092° N, 139.81438° E, 2 Jan. 2018, *H. Ikeda 626* and *629*; *ibid.*, Miyake Isl., 55 m elev., 34.11466° N, 139.4983° E, 29 Dec. 2017, *H. Ikeda 618*.

Chiba Pref.: Chiba-shi, Otaki-machi, Otaki Prefectural Park, 45–140 m elev., 35.2832° N, 140.2325° E, 6 March 2019, *H. Akiyama 25945*, *25946*, *25947* and *25948*; *ibid.*, Wakaba-ku, Noro, Izumi Nature Park, 30 m elev., 35.5803° N, 140.2242° E, 10 March 2019, *H. Akiyama 25975*.

Kanagawa Pref.: Yokosuka-shi, Umahori-machi, Natural Education Garden, 35.257222°N, 139.717222°E, 28 July 2017, *M. Uzawa 4216*; Zama-shi, Iriya, 26 Nov. 2017, *A. Washimi s.n.*; *ibid.*, Sagamigahara, 35.5053° N, 139.4299° E, 21 Jan. 2018, *A. Washim180121-1*; Yamakita-machi, Kurokura forest road, 29 Nov. 2017, *H. Suzuki 171129-A01h*; Hatano-shi, Nishiyama forest road, Kansuke bridge, 29 Nov. 2017, *H. Suzuki 171129-E09h*; Fujisawa-shi, Enoshima, 35.2995° N, 139.4806° E, 14 Jan. 2018, *A. Washimi 20180114-1*.

Yamanashi Pref.: Hayakawa-cho, Akazawa, 452 m elev., 35.402953° N, 138.373904°E, 6 May, *H. Ikeda 651*; Minamikoma-gun, Nanbu-cho, 900 m elev., 35.210561° N, 138.426463° E, 6 Nov. 2019, *H. Ikeda 701*.

Shizuoka Pref.: Shizuoka-shi, Suruga-ku, Yahatayama Park, 48 m elev., 34.970699° N, 138.402160° E, 21 Jan. 2018, *T. Kawakami s.n.*

Nagano Pref.: Karuizawa-cho, Nagakura, Shiraitonotaki trail, 26 Nov. 2017, *A. Yoshida 46*; Chino-shi, Mugikusa-pass, ca. 2100 m elev., Jigokutani, 30 June 2018, *M. Shimadate s.n.*; Kiso-machi, Kaidakougen, Nishino, 1128 m elev., 35.928172° N, 137.581123° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25697*; Nagiso-machi, Oshide, 623 m elev., 35.56237° N, 137.61724° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25702*; Iida-shi, Iida Pass, 1220 m elev., 35.55606° N, 137.73500° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25709*; Toyone-mura, Sakauba, 890 m elev., 35.186686° N, 137.675099° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25722*; Anan-cho, Shinno, 715 m elev., 35.280175° N, 137.770557° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25719* and *25720*.

Niigata Pref.: Sado-shi, Mt. Ooji, 575 m elev., 37.959444° N, 138.483333° E, 22 Oct. 2017, *M. Uzawa 4325*; Yahikomura, Yahiko Shrine, 60 m elev., 37.706419° N, 138.825120° E, 7 Jan. 2018, *H. Shirasaki 25201*; Gosen-shi, Goyagawa, 50 m elev., 37.705452° N, 139.226432° E, 22 April 2018, *H. Shirasaki 25212*; Yuzawa-cho, Mt. Naeba, 959 m elev., 36.88859° N, 138.744256° E, 17 June 2018, *H. Shirasaki 25260*; Itoigawa-shi, Kajiyama, entrance of the trail to Mt. Komagatake, 300 m elev., 36.926111° N, 137.970833° E, 15 July 2018, *H. Shirasaki 25278*; Murakami-shi, Takane,

Suzugataki, 340 m elev., 38.342500° N, 139.667500° E, 9 Sept. 2018, *H. Shirasaki 25385*; *ibid.*, Kitaohdaira, Ishiguroike, 240 m elev., 38.308333° N, 139.605556° E, 8 Sept. 2018, *H. Shirasaki 25372*; Iwafune-gun, Sekikawamura, Oishi, Higashimatagawa, 250 m elev., 38.030088° N, 139.577744° E, 25 May 2019, *H. Shirasaki 26472*.

Toyama Pref.: Tateyama-cho, Tateyama, Takimidai, 1250 m elev., 36.5783° N, 137.4936° E, 30 Oct. 2019, *N. Sakai s.n.*; Toyama-shi, Arimine, Oritate, 1360 m elev., 36.48253° N, 137.47467° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama 2567*; Nanto-shi, Narude, 376 m elev., 36.35203° N, 136.87193° E, 27 Aug. 2018, *H. Akiyama 25668* (intermingled with *C. orientalis*).

Ishikawa Pref.: Hakusan-shi, Shiramine, around the entrance of Tani tunnel, 230 m elev., 36.08928° N, 136.52916° E, 27 Aug. 2018, *H. Akiyama 25659*; *ibid.*, Aratani, 690 m elev., 36.14514° N, 136.5893° E, 27 Aug. 2018, *H. Akiyama 25660*; *ibid.*, Chugu, backyard of Exhibition Center building, 600 m elev., 36.261304° N, 136.76056° E, 27 Aug. 2018, *H. Akiyama 25662*.

Fukui Pref.: Eiheiji-cho, Ichinono, 36.051474° N, 136.328904° E, 9 June 2018, *Y. Oishi 20180609-1*; Katsuyama-shi, Muraoka-cho, Tochikamidani, 230 m elev., 36.08928° N, 136.52916° E, 27 Aug. 2018, *H. Akiyama 25659*.

Gifu Pref.: Hida-shi, Kamioka-cho, Iwatani, 880 m elev., 36.39347° N, 137.38170° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama 25688*; Takayama-shi, Asahi-machi, Suzuran Park, 720 m elev., 36.08960° N, 137.32796° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25693*; *ibid.*, Manyu, 745 m elev., 36.08839° N, 137.35355° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25695*; Ibigawa-cho, Sakauchi-Kawakami, 470 m elev., 35.602567° N, 136.338744° E, 30 Jan. 2020, *Y. Kasai 8147*; Yamagata-shi, Kanzaki, Natusakataniguchi, 210 m elev., 35.637505° N, 136.704276° E, 30 Jan. 2020, *Y. Kasai 8149*; Yoro-cho, Takahayashi 1298-2, 27 July 2018, *A. Yoshida 57*.

Aichi Pref.: Seto-shi, Iwama-machi, *A. Sakuragi 148*; Toei-cho, Nakashidara, 360 m elev., 34.095293° N, 137.673064° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25725*; Shidara-cho, Tashiro, 390m elev., 35.063869° N, 137.610102° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25727*; Shinshiro-shi, Hotokezaka-toge Pass, 517 m elev., 35.046727° N, 137.582414° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25728*; *ibid.*, Kadotani, Hirasawa, 200 m elev., 34.972289° N, 137.566290° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25729*; *ibid.*, Horaiji-san, at the entrance of Akibamichi trail, 230 m elev., 34.972253° N, 137.579848° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25730*; *ibid.*, Kawai, Chichiwa valley, 379 m elev., 35.025278° N, 137.662778° E, 2 April 2020, *M. Chishiki 6183*; Seto-shi, Yoshino-cho, Kaishonomori Park, Aug. 2018, *F. Noda s.n.*

Mie Pref.: Matsusaka-shi, Iitaka-cho, Hachisu, Miyanotani valley, 450–600 m elev., 34.340278° N, 136.146111° E., 18

May 2017, *H. Akiyama 24974*; *ibid.*, Nonoguchi, 160 m elev., 6 June 2018, *N. Morita s.n.*; *ibid.*, Sakanai-cho, 205 m elev., 34.536074° N, 136.430977° E, 3 Oct. 2019, *N. Morita 7*; Nabari-shi, Nagaki, 14 June 2017, *H. Akiyama s.n.*; Shima-shi, Isobe-cho, Erihara (Amano-iwato), 100 m elev., 34.407883° N, 136.763456° E, 20 Dec. 2015, *H. Akiyama 24319*; *ibid.*, Akame-cho, Akame-keikoku valley, 300 m elev., 34.563333° N, 136.085556° E, *H. Akiyama 24882*; *ibid.*, Nagasaka, 235 m elev., 35.5849° N, 136.0843° E, 26 Nov. 2017, *H. Akiyama 25261*; Tsu-shi, Ichishi-cho, Haze, 34.627069° N, 136.383303° E, 16 Nov. 2017, *E. Tamura 4443*; *ibid.*, 34.629869° N, 136.382717° E, *E. Tamura 4448*; Iga-shi, Suwa, 7 April 2019, *Y. Ohshima s.n.*; *ibid.*, Yubune, 220 m elev., 34.846793° N, 136.176685° E, 29 Oct. 2018, *N. Morita s.n.*; Inabe-shi, Fujiwara-cho, Oogaito, Mt. Fujiwara, 287 m elev., 35.1674° N, 136.4639° E, 3 April 2018, *M. Chishiki 5843*; *ibid.*, Mt. Oike, 712m elev., 35.1886° N, 136.4239° E, 4 April 2018, *M. Chishiki 5845* (intermingled with *C. toyotae*); Higashiomi-shi, Ohwada-cho, 411 m elev., 35.103333° N, 136.400555° E, 5 April 2018, *M. Chishiki 5847*; Kameyama-shi, Atimoto-cho, 8 May 2018, *Y. Ohshima s.n.*; Kihoku-cho, Soga, Fudodani valley, 390 m elev., 34.1282618° N, 136.1446538° E, 18 July 2018, *N. Morita 20180718-1*; *ibid.*, Miura, 55 m elev., 34.157504° N, 136.266475° E, 22 Oct. 2018, *N. Morita s.n.*; Kuwana-shi, Tado-machi, Tado, 35.134583° N, 136.613472° E, 5 Nov. 2018, *T. Fukuda s.n.*; Minami-Ise-machi, Higashimiya, 35 m elev., 34.266921° N, 136.549475° E, 11 Sept. 2019, *N. Morita s.n.*; Kumano-cho, Kushiya-cho, 23 m elev., 33.864785° N, 136.066457° E, 30 Oct. 2018, *Y. Ohshima 20181030-1*; Owase-shi, Sugari-machi, Niu, 90 m elev., 14 July 2019, *H. Doei 25181*.

Shiga Pref.: Maibara-shi, Kaminyu, Samegai-valley, 200 m elev., 35.2953° N, 136.3422° E, 8 July 2017, *H. Akiyama 25072* and *25073*; *ibid.*, Kotsuhara, Oku-Ibuki, 510 m elev., 35.503333° N, 136.375000° E, 8 July 2017, *H. Akiyama 25083*; *ibid.*, Azusakawachi, upper reach of Azusagawa, 215 m elev., 35.316667° N, 136.378056° E, 14 Nov. 2018, *Y. Kasai 6704*; Takashima-shi, Kutsuki-Murai, Yokotani valley, 215 m elev., 35.308889° N, 135.892222° E, 23 Nov. 2017, *Y. Kasai 5357*; *ibid.*, Katsuno, 95 m elev., 35.291667° N, 136.006389° E, Nov. 2017, *Y. Kasai 5360* and *5361*; Ohtsu-shi, Sakamoto, Hiyoshi Shrine, Nishihongu-Higashihongu, 160 m elev., 6 Jan. 2018, *K. Nakazato 103, 104* and *106*;

Kyoto Pref.: Kyoto-shi, Sakyo-ku, Hounenin temple, 95 m elev., 35.022778° N, 135.797222° E, 18 June 2017, *H. Akiyama s.n.*; *ibid.*, Nishikyoku, Arashiyama, Genrokuzan-cho, *T. Saeki 4343*; *ibid.*, Saiho-ji temple, 8 Feb. 2019, *H. Akiyama s.n.*; Nantan-shi, Miyama-cho, Ashu, 412 m elev., 35.320000° N, 135.720278° E, 30 Oct. 2018, *M. Chishiki 5865*.

Osaka Pref.: Osaka-shi, Nishi-ku, Utsubo Park, 23 June

2011, *H. Akiyama s.n.*; *ibid.*, Chuo-ku, Osaka Chamber of Commerce and Industry, 5 m elev., 34.6841° N, 135.5113° E, 5 Feb. 2018, *K. Nakasato 00108*; Kawachinagano-shi, Kagata, 505 m elev., 34.22° N, 135.33° E, 4 March 2018, *S. Sakiyama 2018030412*; Takatsuki-shi, Nakahata, 383 m elev., 34.9611° N, 135.6075° E, 14 March 2018, *K. Nakasato 00109*; Shimamoto-cho, Honmachi, 94 m elev., 34.8833° N, 135.6500° E, 29 March 2018, *H. Tsuji 425*.

Nara Pref.: Kawakami-mura, Koudako, 350 m elev., 34.287299° N, 135.989392° E, 16 Jan. 2018, *M. Kimura 8423, 8424* and *8425*; *ibid.*, Ikari, 780 m elev., 34.34073° N, 136.00950° E, 18 Jan. 2018, *M. Kimura 8427*; *ibid.*, Ootenjyo Waterfall, 1040 m elev., 34.285377° N, 135.923082° E, 28 May, 2018, *M. Kimura 8470*; Tenkawa-mura, Dorogawa, in the vicinity of Godaimatu limestone cave, 900 m elev., 34.2651° N, 135.8950° E, 20 Oct. 2019, *T. Saeki 5210*; Kashiba-shi, Mt. Futakami, 95–230 m elev., 34.534444–5461° N, 135.675556–6819° E, 7 Jan. 2018, *T. Kano 5802, 5804, 5806, 5808* and *5809*; Totsukawa-mura, Tamakigawa, Tamaki Shrine, 1000 m elev., 33.926654° N, 135.829232° E, 16 May 2019, *M. Kimura 8585*.

Wakayama Pref.: Wakayama-shi, Tomoga-shima Isl., 28 m elev., 34.2828° N, 135.0047° E, 28 Oct. 2020, *H. Doei 26148*; Tanabe-shi, Gomanodanzan Forest Park, ca. 1100 m elev., 15 July 2018, *H. Doei 24698* and *24699*; *ibid.*, Ryujinmura, Omatagawa, Kamise, 450 m elev., 16 July 2018, *H. Doei 24723*; *ibid.*, Hongu-cho, upper reach of Ohto river, Nakagoya-dani, 380 m elev., *H. Doei 24807*; Katuragi-cho, Hanazono, Yanase, 650 m elev., 15 July 2018, *H. Doei 24700*; Susami-cho, Hirose-dani, Kotonotaki forest road, 200 m elev., 5 Aug. 2018, *H. Doei 24750, 24764* and *24774*; Shingu-shi, Kumanogawa-cho, Unehata, upper reach of Wadagawa river, 250 m elev., 2 Aug. 2018, *H. Doei 24740* and *24743*; *ibid.*, Kamatsuka, Seikantoro, 180 m elev., *H. Doei 24885*; *ibid.*, 180 m elev., 18 Aug. 2018, *H. Doei 24875*; Kushimoto-cho, Sabe, 5 m elev., 33.551553° N, 135.863800° E, 24 Nov. 2018, *Y. Kasai 6704*; Nachikatsuura-cho, Nagai, 14 m elev., 33.598928° N, 135.873671° E, 24 Nov. 2018, *Y. Kasai 6712*; Tomogashima 28 Dec. 2020, *H. Doei 26148* (small type).

Hyogo Pref.: Kawanishi-shi, Hitokura Park, 232 m elev., 34.9180° N, 135.4197° E, 1 July 2017, *H. Akiyama s.n.*; Kami-cho, Muraoka, Uwano-kogen, 600 m elev., 35.429598° N, 134.583142° E, 26 Sept. 2018, *H. Akiyama s.n.*; Aogaki-cho, *H. Akiyama s.n.*; Sanda-shi, Aimoto, 10 June 2017, *H. Akiyama s.n.*; Tanba-shi, Kasuga-cho, Tari, Higaoku valley, 160 m elev., 35.182222° N, 135.149722° E, 14 May 2017, *H. Akiyama 24972*; Tatsuno-shi, Shingu-cho, Tsunokame, 34.937246° N, 134.451306° E, 8 Sept. 2020, *H. Akiyama 26392* (distributed as *exicatae* from HIRO); Kamigori-cho, Koto, 34.922994° N, 134.449417° E, 8 Sept. 2020, *H. Akiyama 26400* (small type); Kobe-shi, Suma-ku, Yokoo,

Tsubakiyama Park, 150 m elev., 34.665417° N, 135.113417° E, 3 Jan. 2018, *K. Nakasato 00103*; Shinonsen-cho, Hanasaka, 35.6187° N, 134.4461° E, 21 June 2018, *M. Michimori s.n.*; Yabu-shi, summit of Mt. Hyonosen, 1490 m elev., 35.3546° N, 134.5138° E, 9 Oct. 2018, *H. Akiyama 25772* (intermingled with *Sandea japonica*); *ibid.*, Ohya-cho, Yokoiki-keikoku valley, 980 m elev., 35.3409° N, 134.5276° E, 9 Oct. 2018, *H. Akiyama 25797*; Kinosaki-cho, Ueyama, 10 Apr. 2021, *T. Suzuki s.n.*

Tottori Pref.: Hino-gun, Kofu-cho, Ebi, 175 m elev., 35.285959° N, 133.492384° E, 20 March 2018, *A. Kato s.n.*; *ibid.*, Mitsukue, 600 m elev., 35.28° N, 133.49° E, 25 March 2018, *A. Kato s.n.*; *ibid.*, 17 Oct. 2019, *T. Kano 646*; *ibid.*, Miyaichi, 438 m elev., 35.293735° N, 133.534924° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama 26065*; Tottori-shi, Aoya-cho, Hatsushoji, 96 m elev., 35.475070° N, 133.983014° E, 7 Jan. 2018, *A. Yoshida 51* and *52*; *ibid.*, Uemachi, Ouchidani Park, 20 m elev., 35.5007° N, 134.2485° E, 30 July 2018, *A. Yoshida 54*; Saji-cho, Ohi, 133 m elev., 35.3382° N, 134.1531° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama 26096*; Kurayoshi-shi, Sekikane-cho, Inubasari pass, 517 m elev., 35.3193° N, 133.7207° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama 26090*; Nichinan-cho, Yato, beneath Dainyu pass, 400 m elev., 35.1635° N, 133.2530° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama 26092*; Misasa-cho, Kijiyama, 394 m elev., 35.3153° N, 133.8778° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama 26094*.

Shimane Pref.: Ota-shi, Sanbe-cho, Tane, foot of Mt. Sanbe, 230 m elev., 34.1767° N, 134.6000° E, 15 April 2018, *T. Yamaguchi 39109*; *ibid.*, Ikeda, foot of Mt. Sanbe, 610 m elev., 34.1505° N, 132.6283° E, 15 April 2018, *T. Yamaguchi 39100*; Hamada-shi, Misumi-cho, Shimokoraiguchi, 116 m elev., 34.735624° N, 134.006663° E, 22 Feb. 2019, *M. Ohta s.n.*; Oki-gun, Okinoshima-cho, Saigo, 215 m elev., 36.263333° N, 133.296667° E, 16 June 2018, *T. Tango 01419*; Okuizumo-cho, Takezaki, 520 m elev., 35.1969° N, 133.1710° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama 26093*; Izumo-shi, Sada-cho, Ichikubota, 97-104 m elev., 35.245189° N, 132.689659° E, 27 Aug. 2019, *H. Akiyama 26097* and *26098*; *ibid.*, Sada-cho, Ichikubota, 97 m elev., 35.2427° N, 132.6799° E, 27 Aug. 2019, *H. Akiyama 26098*; Iinan-cho, Shitumi, 365 m elev., 35.1288° N, 132.6813° E, 27 Aug. 2019, *H. Akiyama 26099*; *ibid.*, Tsunoi, 574 m elev., 35.141938° N, 132.64041° E, 27 Aug. 2019, *H. Akiyama 26100*; Gotsu-shi, Sakurae-cho, en route to Kan'non Fall, 63 m elev., 34.947790° N, 132.449343° E, 27 Aug. 2019, *H. Akiyama 26101* and *26102*.

Okayama Pref.: Okayama-city, Kita-ku, Korakuen, Okayama Korakuen Garden 34.668806° N, 133.935457° E, *E. Tamura 4462*; Kita-ku, Shinjyo-shimo, 8 m elev., 34.673817° N, 133.810307° E, 21 Feb. 2018, *N. Nishihara s.n.*; Niimi-shi, Hongo, 34.941111° N, 133.418333° E, 10 July 2017, *H. Akiyama 25101*; Wake-cho, Taga, Nature Conservation Center, 203 m elev., 34.851667° N, 134.054167° E, 25 March 2018,

M. Chishiki 5840 and *5841*; Maniwa-shi, Kanba, Kanba Waterfall, 345 m elev., 35.115000° N, 133.680556° E, 21 Sept. 2018, *M. Chishiki 5867*; Kagamino-cho, Okutsu-Kawanishi, 340 m elev., 35.2142° N, 133.9117° E, 9 March 2020, *M. Chishiki 5921*; Maniwa-shi, Kanba, Kanbanotaki waterfall, 345–377 m elev., 35.115000-116111° N, 133.679167-680556° E, 21 Sept. 2018, *M. Chishiki 5866* and *5867*; *ibid.*, Hiruzenbessho, 522 m elev., 35.292856° N, 133.778445° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama 26091*; Kagamino-cho, east of Nigyo-toge Pass, 670 m elev., 35.309278° N, 133.948211° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama 26088*.

Hiroshima Pref.: Hatsukaichi-shi, Miyajima Isl., en route from Tatara to Okunoin temple, 250 m elev., 34.2772° N, 132.3092° E, 9 April 2018, *S. Uchida s.n.*; Shobara-shi, Tojo-cho, Kami-Taishakukyo, 410 m elev., 34.865278° N, 133.206389° E, 10 July 2017, *H. Akiyama 25096*; *ibid.*, 14 March 2018, *H. Akiyama 25439*; *ibid.*, Saiiki-cho, Hirako, 450 m elev., 34.9025° N, 133.1306° E, 17 June 2018, *T. Yamaguchi 39111*.

Yamaguchi Pref.: Mine-shi, Taishodo limestone cave, 160 m elev., 34.2771° N, 131.3187° E, 8 Dec. 2017, *M. Hayashi 25598*; *ibid.*, Syuho-cho, Akiyoshi, Syuhodo Cave, 80 m elev., 34.2253° N, 131.3050° E, 25 Oct. 2018, *M. Hayashi 27162*; Yamaguchi-shi, Ato, Izumonaka, Chomon-kyo valley, 169 m elev., 34.3195° N, 131.5660° E, 16 Dec. 2017, *M. Hayashi 26190*; *ibid.*, Tada, 10 m elev., 34.279833° N, 132.173250° E, 18 March 2018, *T. Yamaguchi 39103*; *ibid.*, Atotokusashita, 286 m elev., 34.3742° N, 131.6890° E, 27 Aug. 2019, *H. Akiyama 26103*; Hagi-shi, Fukue, *M. Hayashi 26366*; Syunan-shi, Miyanosita, Takatobara-hachiman Shrine, 27 m elev., 34.0852° N, 131.7159° E, 4 Feb. 2018, *M. Hayashi 25671*; Nagato-shi, Shibuki, 230 m elev., 34.290680° N, 131.185459° E, 31 Aug. 2019, *N. Morita s.n.*;

Tokushima Pref.: Katsuura-cho, Tanano, Tachikawa Valley, 120–390 m elev., 24 June 2017, *H. Akiyama 25058*, *25059* and *25060*; *ibid.*, Mamidani, 410 m elev., 33.870222° N, 134.453972° E, 24 June 2017, *H. Akiyama 25062* and *25063*; *ibid.*, 410 m elev., *H. Akiyama 25254*; Kamikatsu-cho, Shokuta, 290 m elev., 33.873611° N, 134.415000° E, 24 June 2017, *H. Akiyama 25064*, *25065* and *25068*; Miyoshi-shi, Higashiiya, Sugeoi, in the vicinity of Nishijima cable station, 1717 m elev., 33.85944° N, 4.093056° E, 7 Oct. 2019, *M. Chishiki s.n.*; Mima-gun, Tsurugi-machi, Ichiu, 31 March 2018, *Y. Asakawa s.n.*; *ibid.*, Sadamitsu, 183 m elev., 33.982222° N, 134.076944° E, 06 Oct. 2019, *M. Chishiki s.n.*; Kaiyo-cho, Aikawa, 65 m elev., 33.646111° N, 134.275833° E, 25 March 2017, *H. Akiyama 24916*.

Kochi Pref.: Agawa-gun, Niyodogawa-cho, Nakatsu-keikoku, 3 Nov. 2019, *S. Suzuki s.n.*; Agawa-gun, Ino-cho, Kase, 33.7793° N, 133.3070° E, 27 March 2018, *T. Yamaguchi 39105*; *ibid.*, Kuwase, entrance of the trail to Mt. Kanpuzan,

1208 m elev., 33.7989° N, 133.2653° E, 24 Sept. 2018, *M. Chishiki* 5859; *ibid.*, Mt. Kanpuzan, 1130 m elev., 33.79953° N, 133.26631° E, 28 Oct. 2018, *K. Iwata* 4503; (intermingled with *C. purpureorubum* western type); Tosashimizu-shi, Ashizurimisaki, 90 m elev., 37.7308° N, 133.0131° E, 29 March 2018, *T. Yamaguchi* 39107 and 39150; Umaji-mura, Yanase, 457–568 m elev., 33.655278° N, 134.081389° E, 24 April 2018, *M. Chishiki* 5850-A, 5850-B and 5851; Aki-shi, Furui, 159 m elev., 33.933056° N, 133.981389° E, 24 April 2018, *M. Chishiki s.n.*; Okawa-mura, Takano, 349 m elev., 33.790000° N, 133.422222° E, 25 Sept. 2018, *M. Chishiki* 5860 and 5861.

Kagawa Pref.: Man'no-cho, Katsuura, 430 m alt., 34.096944° N, 134.001944° E, 9 Feb. 2020, *M. Saji* 2872 and 2873; *ibid.*, Shioiri, Noguchi Dam, 6 Feb. 2020, *M. Saji* 2875; Mitoyo-shi, Saita-cho, Saitanaka, 34.097° N, 133.770° E, 9 Feb. 2020, *M. Saji* 2874.

Ehime Pref.: Saijyo-shi, Nishinokawa, 440 m elev., 33.80143° N, 133.15485° E, 15 Jan. 2018, *K. Iwata* 3753; *ibid.*, Nakaoku, 195 m elev., 33.8647° N, 133.1786° E, 15 Jan. 2018, *K. Iwata* 3752; Yawatahama-shi, Yashiro, 35 m elev., 33.442688° N, 132.428329° E, 3 April 2018, *K. Iwata* 4100; Ohsu-shi, Hijikawa-cho, Ohtani, Mt. Gozaisho, 560 m elev., 33.43639° N, 132.63692° E, 3 April 2018, *K. Iwata* 4104; Ino-cho, Kuwase, Mt. Kanpuzan, 1130 m elev., 33.79953° N, 133.26631° E, 28 Oct. 2018, *K. Iwata* 4503; Uchiko-cho, Nakagawa, Odamiyama Valley, 800 m elev., 33.5312° N, 132.8940° E, 22 March 2019, *K. Iwata* 4767.

Fukuoka Pref.: Iizuka-shi, Yakiyama, Yakiyama Camping Site, 180 m elev., 33.650355° N, 130.597744° E, 11 March 2018, *H. Akiyama* 25390; Kawara-machi, Saido-sho, Gotokugoe-Pass, 260 m elev., 33.693209° N, 130.839314° E, 12 March 2018, *H. Akiyama* 25400; Fukuoka-shi, Mt. Seburi, 857 m elev., 33.434861° N, 130.360528° E, 10 Oct. 2018, *A. Tanaka* 20181010-2; *ibid.*, Higashi-ku, Shimohara, Mt. Tachibana, 33.677206° N, 130.464767° E, 2 Nov. 2018, *A. Tanaka* 20181102; Kitakyushu-shi, Kokuraminami-ku, Hiraodai, Senbutsudo Cave, 300 m elev., 33.7543° N, 130.9047° E, 12 March 2018, *H. Akiyama* 25402; Itoshima-shi, Northeastern slope of Mt. Ihara, Mizunashi Valley, 530–650 m elev., 33.4820° N, 130.2618° E, 20 March 2020, *H. Akiyama* 26328; Dazaifu-shi, Uchiyama, Mt. Homansan, 632 m elev., 33.536111° N, 130.566389° E, 28 Sept. 2020, *M. Chishiki s.n.*

Saga Pref.: Tosu-shi, Tateishi-cho, Ochouzu camping site, 33.384047° N, 130.456036° E, 27 Nov. 2017, *T. Ohya* 430; Saga-shi, Fujimi-cho, Kamikumagawa, 33.361796° N, 130.219398° E, 25 Nov. 2017, *T. Ohya* 431; Takeo-shi, Yamauchi-cho, Miyano, 33.2226614° N, 129.915337° E, 29 Nov. 2017, *T. Ohya* 432; Kashima-shi, Yamaura, 460 m elev., 32.9978° N, 130.0617° E, 25 Jan. 2020, *T. Ohya* 460; Tara-

cho, Tara, Mt. Tara, 893 m elev., 32.975000° N, 130.091111° E, 8 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*

Nagasaki Pref.: Nagasaki-shi, Kounoura, Kitaoonakomachi, Nagasaki Prefectural Forest, 31 Aug. 2019, *M. Matsumoto s.n.*; Ohmura-shi, Kamisuwa, Yamada Fall, 32.923889° N, 129.979444° E, 17 May 2018, *A. Tanaka s.n.*; *ibid.*, Kuroki-cho, entrance of Mt. Kyogatake, 314 m elev., 32.977500° N, 130.057500° E, Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*; *ibid.*, Mt. Taradake, 779 m elev., 32.973333° N, 130.083056° E, 8 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*; Kamigoto-cho, Tainouragou, 18 m elev., 32.945833° N, 129.101944° E, 19 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*; *ibid.*, Arakawagou (San'noyama shrine), 421 m elev., 32.32933056° N, 129.053056° E, 20 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*; Tsushima-shi, Mitushima-cho, Sumo, 351 m elev., 34.26366611° N, 129.251666° E, 1 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*; *ibid.*, Kamiagata-cho, Sago, Mt. Mitake, 456 m elev., 2 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*

Oita Pref.: Anshin'in-machi, Ukenokuchi, Iwaya, 245 m elev., 33.3809807° N, 131.3595792° E, 12 March 2018, *H. Akiyama* 25406; Yufuin-machi, Tsukahara, in the vicinity of Yufuin Parking Area, 620 m elev., 33.308891° N, 131.403855° E, 12 March 2018, *H. Akiyama* 25414 and 25415; Saiki-shi, Honjyo, Onagara, in the vicinity of Onagara Limestone Cave, 40 m elev., 32.948952° N, 131.756136° E, 13 March 2018, *H. Akiyama* 25425; Usuki-shi, Nodzu, Iwaya, 125 m elev., 32.996332° N, 131.706531° E, 13 March 2018, *H. Akiyama* 25428; Bungoohno-shi, Mie-machi, Asase, Sugao-Sekibutu, 80 m elev., 33.0245° N, 131.6162° E, 23 Oct. 2019, *N. Nishihira* 5210.

Miyazaki Pref.: Nichinan-shi, Obi, Obi castle, *M. Uzawa* 4064; *ibid.*, Inohae, *M. Uzawa* 4069; *ibid.*, Sakatani, Taneda, 34 m elev., 31.6128° N, 131.3270° E, 2 Sept. 2017, *H. Akiyama* 25203 and 25205; *ibid.*, Kusuhara, Ioshi Shrine, 38 m elev., 31.6241° N, 131.3467° E, 2 Sept. 2017, *H. Akiyama* 25206; *ibid.*, Sakatani, Kobuse-no-taki Fall, 140 m elev., 31.6373° N, 131.2464° E, 2 Sept. 2017, *H. Akiyama* 25197, 25198 and 25200; Gokase-cho, foot of Mt. Shiraiwa, 1470 m elev., 1 Nov. 2017, *M. Matsumoto s.n.*; Nobeoka-shi, 600 m elev., 2 Nov. 2017, *M. Matsumoto s.n.*; Ebino-shi, Ohkoubira, 32.067526° N, 130.913792° E, 4 Feb. 2018, *M. Matsumoto* 180204-1; Tsuno-cho, Kawakita, Osuzu Valley, parking lot, 400 m elev., 32.2855° N, 131.4661° E, 22 May 2019, *H. Akiyama* 26014.

Kumamoto Pref.: Minamioguni-machi, Manganji, 560 m elev., 33.084917° N, 131.104434° E, 13 March 2018, *H. Akiyama* 25434; Hitoyoshi-shi, Shikame-taki Waterfall, 260 m elev., 32.1937° N, 130.6945° E, 25 July 2018, *M. Matsumoto* 20180725-3.

Kagoshima Pref.: Yakushima-cho, Yakushima Isl., side branch of Anbo road, between Kigensugi and Kawakamisugi, 1260 m elev., 30.303724° N, 130.542297° E, 31 Aug. 2016, *H.*

Akiyama 24743; *ibid.*, Hanaage river, 126 m elev., 30.291321° N, 130.627913° E, 31 Aug. 2016, *H. Akiyama s.n.* (small type); *ibid.*, Nakama, 88 m elev., 30.259044° N, 130.445875° E, 11 March 2018, *N. Hayashida 714*; *ibid.*, Nakama forest road, 223 m elev., 11 March 2018, *N. Hayashida 715*; Amami-oshima Isl., Uken-son, Arangachi, Arangachi-Fall, 30 m elev., 28.270611° N, 129.323583° E, 14 Jan. 2016, *H. Akiyama 24421*; *ibid.*, Yamato-son, foot of Mt. Yuwan, Materia-Fall, 180 m elev., 28.316694° N, 129.351222° E, 13 Jan. 2016, *H. Akiyama 24402*; Tokunoshima Isl., Tokunoshima-cho, Kamezu, 80 m elev., 27.746718° N, 128.998488° E, 17 Jan. 2019, *H. Akiyama 25906*; *ibid.*, Amagi-cho, Nishiakkona, 110 m elev., 27.767520° N, 128.95081° E, 17 Jan. 2019, *H. Akiyama 25907*; *ibid.* western foot of Mt. Inokawa, 137-155 m elev., 27.777149° N, 128.951944° E, 17 Jan. 2018, *H. Akiyama 25908* and *25909*; *ibid.*, Isen-cho, Kojima, 135 m elev., 27.742416° N, 128.921666° E, 17 Jan. 2019, *H. Akiyama 25910*.

Okinawa Pref.: Kunigami-son, Hiji, between entrance gate to Hijiohtaki Fall, 20 m elev., 26.7172° N, 128.1832° E, 7 Feb. 2018, *H. Akiyama 25372* and *25373*; *ibid.*, Aha, Tanagagumui-waterfall, 59 m elev., 26.724722° N, 128.286667° E, 21 March 2018, *M. Chishiki 5839*; Ogimi-son, Ada, just above the Ingah Bridge, 70 m elev., 26.7621° N, 128.3037° E, 7 Feb. 2018, *H. Akiyama 25375*; Ogimi-son, Tsuha, between entrance to Tahtaki Fall, 40 m elev., 26.6325° N, 128.0933° E, 6 Feb. 2018, *H. Akiyama 25347* and *25349*.

TAIWAN.

Nantou Co.: Lugu township, Xitou Forest Recreation Area, 1200–1300 m elev., 23.6709° N, 120.7975° E, 2 June 2018, *H. Akiyama 25644*, *25652* and *25656*.

Chiayi Co.: Alishan, Shih Meng Gu, 1463 m elev., 23.562778° N, 120.774722° E, May 2018, *K.-Y. Yao 7655*.

Yilan Co.: Datong Township, Taiping Mountain Forest Resort, 1 April 2019, *H. Fujii s.n.*

C. orientalis J2 type

JAPAN.

Mie Pref.: Komono-cho, summit area of Mt. Gozaisho, Choyodai Park, 1200 m elev., 35.0204° N, 136.4191° E, 21 May 2017, *N. Morita s.n.*

Nara Pref.: Totsukawa-mura, Tamakigawa, Tamaki Shrine, 1000 m elev., 33.926654° N, 135.829232° E, 16 May 2019, *M. Kimura 8585*.

Tokushima Pref.: Anan-shi, around Hanasaka, 70 m elev., 33.858056° N, 134.591111° E, 25 March 2017, *H. Akiyama 24892*; Hiwasa-cho, around Okugata, 10 m elev., 33.724167° N, 134.511111° E, 25 March 2017, *H. Akiyama 24893*; Tokushima-shi, Yamashiro, Nishihama, Tokushima Bunri University, 34.0534° N, 134.5574° E, 8 March 2018, *H. Akiyama 25379* (transplanted population).

C. orientalis J3 type

JAPAN.

Hokkaido Pref.: Shari-cho, Raiun, 55–65 m elev., 43.833056° N, 144.642694° E, 13 July 2017, *A. Uchida 20170007* (Hokkaido-4); *ibid.*, Fuji, Mt. Shari, 310–320 m elev., 43.804694° N, 144.768389° E, 30 July 2017, *A. Uchida 20170017* (Hokkaido-8); Kamikawa-cho, Soun-kyo, 650–750 m elev., 43.721639° N, 142.956250° E, 4 Aug. 2017, *A. Uchida 20170024* (Hokkaido-12); Kamishihoro-cho, Nukapira nature trail, 536 m elev., 43.367092° N, 143.189809° E, *Y. Oppata 3611*; Sapporo-shi, Minamiku, Ishiyama Park, 1 Aug. 2019, *T. Saeki 5160*; Tomakomai-shi, Tarumae, foot of Mt. Tarumae, Shindomon, 385 m elev., 42.673056° N, 141.433889° E, 29 April 2020, *K. Izumida TRM-020*.

Aomori Pref.: Hirosaki-shi, Osuke, 125–175 m elev.,

40.566750° N, 140.339583° E, 22 Aug. 2017, *A. Uchida 20170030* (Hirosaki-3); Hirosaki-shi, Nishimeya-mura, Tshiro, Chichibogataki Fall, 114 m elev., 40.569444° N, 140.295278° E, 5 July 2020, *M. Chishiki s.n.*; Fukaura-machi, Iwasaki, 133 m elev., 40.5826° N, 139.9887° E, 25 Aug. 2019, *M. Sawada 20190825-1*; Towada-shi, Takada, Mts. Hakkouda, Tsuta-onsen, 520 m elev., 40.598889° N, 140.950278° E, 18 Oct. 2018, *T. Yamaguchi 39374*; *ibid.*, Oirase-keikoku valley, 252 m elev., 40.5500° N, 140.9833° E, 22 Oct. 2018, *M. Sawada 20181022-2*; Aomori-shi, Uchimannpe, Mt. Chyobo, 43 m elev., 40.907513° N, 140.597084° E, 17 April 2018, *M. Sawada 20180417-2*.

Iwate Pref.: Hanamaki-shi, Osako-machi, Foot of Mt. Hayachine, en route from Odagoke to Kawaranobou, 1128 m

elev., 39.540556° N, 141.48500° E, 19 Aug. 2019, *M. Uzawa 5140*; *ibid.*, 1100 m elev., 39.540000° N, 141.482222° E, 19 Aug. 2019, *M. Uzawa 5141*.

Akita Pref.: Happou-cho, Minehama, Mizusawa, Mizusawa Dam, 220 m, 40.3616° N, 140.0976° E., 20 Oct. 2018, *M. Takaoka s.n.*; Higashinaruse-mura, Iwaigawa, Kakkyogawa National Forest, Tensho Fall, 440 m elev., 39.1790° N, 140.7528° E, 18 Aug. 2020, *S. Sato TSF 3R*.

Fukushima Pref.: Hinoemata-mura, Mt. Hiuchigatake, Bunazawa Fall, 1246 m elev., 36.983611° N, 139.33333° E, 23 Aug. 2019, *S. Nemoto 965*.

Niigata Pref.: Yuzawa-cho, Mt. Naeba, Kagura-mitsumata ski resort, 959 m elev., 36.8886° N, 138.7543° E, 17 June 2018, *H. Shirasaki 25620*.

Ibaraki Pref.: Kuji-gun, Taishi-cho, Sanuki, Hatuhara river, 36.843333° N, 140.264167° E, 28 Sept. 2019, *M. Uzawa 5197*.

Hyogo Pref.: Yabu-shi, Mt. Hyonosen, at the base of Koshiki-iwa, 1420 m elev., 35.3550° N, 134.5116° E, 9 Oct. 2018, *H. Akiyama 25776* and *25780*; *ibid.*, Yokoike Valley, 770 m elev., 30 Nov. 2020, *H. Akiyama 26468*.

Conocephalum purpureorubrum H. Akiyama **Eastern Japanese form (FE)**

JAPAN.

Fukushima Pref.: Iwaki-shi, Ogawa-machi, Natuigawa valley, 210 m elev., 37.189444° N, 140.802500° E, 9 Sept. 2019, *S. Nemoto 20190909*.

Gunma Pref.: Naganohara-machi, Kawarayu, 510 m elev., 36.325406° N, 138.416271° E, 21 Nov. 2018, *K. Nakazawa 7398*; *ibid.*, 25 Nov. 2017, *A. Yoshida 42*; Fujioka-shi, Shimohino, Kuroishi, 270 m elev., 36.203717° N, 138.987592° E, 31 Dec. 2017, *M. Kimura 8420*; Tano-gun, Ueno-mura, Narahara, near the Oinuana Limestone Cave, 770 m elev., 36.078083° N, 138.737861° E, 30 Dec. 2017, *M. Kimura 8416*.

Tochigi Pref.: Nikko-shi, Sannai, 36.76° N, 139.60° E, 27 April 2018, *Y. Ohshima s.n.*; *ibid.*, Chugu Shrine, 1387 m elev., 36.722680° N, 139.492362° E, 14 June 2018, *Y. Ohshima s.n.*; Tochigi-shi, Izuru-cho, Mangannji, 340 m elev., 36.4667° N, 139.5833° E, 11 May 2018, *T. Saeki 4463*.

Ibaraki Pref.: Hitachiohta-shi, Mt. Nishikanasa, 36.651922° N, 140.450608° E, 28 July 2017, *M. Uzawa 4246* and *4247*; Hanakawa-cho, Hanazono Shrine, 450 m elev., 36.860000° N, 140.629167° E, 3 Nov. 2017, *M. Uzawa 4350*; *ibid.*, 36.861944° N, 140.626389° E, 19 Nov. 2017, *M. Uzawa 4375* (with strong smell of Matsutake mushroom flavor); *ibid.*, precinct of Hanazono Shrine, 433 m elev., 36.861163° N, 140.625939° E, 9 March 2019, *H. Akiyama 25949* and *25953*; Kuji-gun, Daigo-machi, Sanuki, Hatsuhara river, 36.8422° N, 140.2669° E, 28 Sept. 2019, *M. Uzawa 5197* and *5198*.

Chiba Pref.: Ichihara-shi, Yoro-keikoku, 1993, *H. Akiyama s.n.* (see Akiyama and Hiraoka 1994); Kyonan-machi, Motona, at the foot of Mt. Nokogiri, 27 m elev., 35.152905° N, 139.831570° E, 9 Oct. 2018, *T. Furuki 25043*; Isumi-gun, Otaki-machi, Otaki Prefectural Park, 80–140 m elev., 35.28° N, 140.23° E, 6 March 2019, *H. Akiyama 25944* and *25947*.

Tokyo Metro.: Hachioji-shi, Mt. Takao, 6th trail, 380–490 m elev., 35.6250° N, 139.2450° E, 4 Dec. 2017, *H. Akiyama*

25272, *25275* and *25281*; *ibid.*, 3th trail, 550 m elev., 35.6250° N, 139°2447° E, 4 Dec. 2017, *H. Akiyama 25283*; *ibid.*, Hikage-zawa, 300 m elev., 35.6329° N, 139.2432° E, 4 Dec. 2017, *H. Akiyama 25286*; Okutama-cho, Nippara, in the vicinity of Limestone Cave, 630 m elev., 35.8520° N, 139.0405° E, 5 Dec. 2017, *H. Akiyama 25293*; *ibid.*, Higashi-Nippara, 615 m elev., 35.8471° N, 139.0388° E, 5 Dec. 2017, *H. Akiyama 25295*; *ibid.*, Nippara, Kurasa, 510 m elev., 35.8428° N, 139.0625° E, 5 Dec. 2017, *H. Akiyama 25301*; Fuchu-shi, Musashidai, Musashidai Park, 65 m elev., 35.6885° N, 139.4611° E, 11 Jan. 2018, *A. Yoshida 53*; Machida-shi, Hramachida, 35.547728° N, 139.449807° E, 28 Jan. 2018, *A. Washimi 180128*; Oshima-mura, Izu-Oshima Isl., Senzufudo, 34.780777° N, 139.419139° E, 16 Jan. 2020, *K. Yanagiba s.n.*; Miyake-mura, Miyake Isl., 55 m elev., 34.11466° N, 139.4983° E, 29 Dec. 2017, *H. Ikeda 630*.

Kanagawa Pref.: Yamakita-cho, Nakagawa, at the entrance of Youkizawa, 540 m elev., 35.4720° N, 139.0630° E, Nov. 2017, *H. Suzuki 171129-C05h*; Hakone-cho, Motohakone, foot of Mt. Komagatake, 1993, *H. Akiyama s.n.* (see Akiyama and Hiraoka 1994); *ibid.*, Bougasawa, 1993, *H. Akiyama s.n.* (see Akiyama and Hiraoka 1994).

Nagano Pref.: Matsukawa-cho, Ikuta, 35.598827° N, 137.981398° E, 17 Dec. 2017, *M. Ohta 2017121701*; Inashi, Ina, foot of Mt. Chausu, 1357 m elev., 35.825031° N, 137.854775° E, 1 July 2018, *Y. Oishi 20180701-2*; Kiso-machi, Mitake, 812 m elev., 35.83676° N, 137.63362° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25700* and *25701*; Nagiso-machi, Oshide, 623 m elev., 35.56237° N, 137.61724° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25703*; Iida-shi, Iida Pass, 1220 m elev., 35.55606° N, 137.73500° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25710*; Toyone-mura, Sakauba, 890 m elev., 35.186686° N, 137.675099° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25723*.

Yamanashi Pref.: Hayakawa-cho, Amehata, 35.455733° N, 138.291530° E, 5 May 2018, *H. Ikeda 650*.

Shizuoka Pref.: Kawanehon-cho, Kurishiro, 35.182667° N, 138.159583° E, 22 Dec. 2017, *M. Ohta* 2017122203.

Aichi Pref.: Okazaki-shi, Ishihara-machi, Kuragari Valley, 452 m elev., 34.920278° N, 137.407778° E, 4 April 2020, *M. Chishiki* 6184; Toyone, Sakauba, 890 m elev., 35.186686° N,

137.675099° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama* 25723.

TAIWAN.

Nantou Co.: Lugu township, Xitou Forest Recreation Area, 1200–1300 m elev., 23.6709° N, 120.7975° E, 2 June 2018, *H. Akiyama* 25642, 25644 and 25655.

***Conocephalum purpureorubrum* H. Akiyama Western Japanese form (FW)**

JAPAN.

Toyama Pref.: Tateyama-machi, Ashikuraji, Buna-saka National Forest, Hachiro-zaka, 1060 m elev., 36.576821° N, 137.517083° E, *M. Michimori* 20180830-3.

Gifu Pref.: Ibigawa-cho, Kasugakawai (NE part of Mt. Ibuki), 1032 m elev., 35.423611° N, 136.433333° E, 3 Aug. 2018, *M. Chishiki* 5852; Yamagata-shi, Kanzaki, Iodo, Shiraiwa valley, 325 m elev., 35.662962° N, 136.713374° E, 30 Jan. 2020, *Y. Kasai* 8150.

Mie Pref.: Nabari-shi, Akame, Senjyutaki Fall, 355 m elev., 34.461080° N, 136.089106° E, 31 March 2018, *H. Akiyama* 25533; Kihoku-cho, Soga, Fudodani valley, 466 m elev., 34.1246613° N, 136.1369683° E, 18 July 2018, *N. Morita* 20180718-2.

Kyoto Pref.: Kyoto-shi, Nishikyo-ku, Arashiyama, Genrokuzan-cho, 57 m elev., 35.0136° N, 135.6696° E, *H. Akiyama* 25805 (intermingled with *C. salebrosum*).

Nara Pref.: Kawakami-mura, Ikari, 815 m elev., 34.342745° N, 136.010077° E, 18 Jan. 2018, *M. Kimura* 8426; *ibid.*, Otenjyo Waterfall, 1040 m elev., 34.285377° N, 135.923082° E, 28 May, 2018, *M. Kimura* 8469; Totsukawamura, Tamakigawa, Mt. Tamaki-san, 1050 m elev., 33.926303° N, 135.831571° E, 16 May 2019, *M. Kimura* 8586; *ibid.*, Uchihara, in the vicinity of Sasanotaki Waterfall, 480 m elev., 34.0611° N, 135.8579° E, 5 May 2019, *T. Saeki* 5039.

Wakayama Pref.: Tanabe-shi, Gomanodanzan Forest Park, ca. 1100 m elev., 15 July 2018, *H. Doei* 24688, 24693 and 24696; *ibid.*, Ryujin-mura, 270 m elev., 16 July 2018, *H. Doei* 24724; Susami-cho, Hirose-dani, Kotonotaki forest road, 200 m elev., 5 Aug. 2018, *H. Doei* 24762; Shingu-shi, Kumanogawa-cho, Kamatuka, Seikantoro, 110 m elev., 18 Aug. 2018, *H. Doei* 24874.

Tokushima Pref.: Kaiyo-cho, Aikawa, *H. Akiyama* 24895, 24896 and 24915; *ibid.*, Todoroki Falls, *H. Akiyama* 24949; Katsuura-cho, Tanano, Mamidani, 410 m elev., 33.870222° N, 134.453972° E, 24 June 2017, *H. Akiyama* 25061; Kamikatsu-cho, *H. Akiyama* 25067 and 25069; Mima-shi, Koyadaira, 1359 m elev., 33.8827° N, 134.2055° E, 24 July 2018, *M. Saji* 1538 and 1539.

Kochi Pref.: Umaji-mura, Yanase, 568 m elev., 24 April

2018, *M. Chishiki* 5850-B; Ino-cho, Wakinoyama, 1340 m elev., 33.753889° N, 133.365556° E, 27 Sept. 2018, *M. Chishiki* 5862 and 5863; *ibid.*, Kuwase, Mt. Kanpu-zan, 1130 m elev., 33.79953° N, 133.26631° E, 28 Oct. 2018, *K. Iwata* 4502.

Ehime Pref.: Saijyo-shi, Oonaru, 195 m elev., 33.8647° N, 133.1786° E, 15 Jan. 2018, *K. Iwata* 3752; Kumakogen-cho, Nishitani, 1117 m elev., 33.477500° N, 132.979167° E, 12 Sept. 2018, *M. Chishiki* 5855; Uchiko-cho, Nakagawa, Odamiyama Valley, 800 m elev., 33.5312° N, 132.8940° E, 22 March 2019, *K. Iwata* 4768.

Fukuoka Pref.: Iizuka-shi, Yakiyama, Yakiyama Camping Site, 180 m elev., 33.650355° N, 130.597744° E, 11 March 2018, *H. Akiyama* 25383, 25386 and 25395; Kitakyushu-shi, KokuraMinami, Hiraodai, at the entrance of Senbutu limestone cave, 290 m elev., 33.7543° N, 130.9047° E, 12 March 2018, *H. Akiyama* 25404; *ibid.*, Ubusune-no-hokora, 33.75089° N, 130.8941° E, 29 Aug. 2019, *H. Akiyama* 26705 and 26706; Fukuoka-shi, Mt. Seburi, 955 m elev., 33.437678° N, 130.365909° E, 10 Oct. 2018, *A. Tanaka* 20181010-I; *ibid.*, 658 m elev., 33.441389° N, 130.356111° E, 5 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*; Itoshima-shi, Northeastern slope of Mt. Ihara, Mizunashi Valley, 530-650 m elev., 33.4820° N, 130.2618° E, 20 March 2020, *H. Akiyama* 26329; *ibid.*, north slope of Mt. Raizan, Seiga-no-taki Fall, 510 m elev., 33.4864° N, 130.8605° E, 20 March 2020, *H. Akiyama* 26349; Asakura-shi, Mt. Kosho-san, 539 m elev., 33.481389° N, 130.720278° E, 28 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.* (growing side-by-side with *C. salebrosum*).

Oita Pref.: Yufu-shi, Yufu-shi, Haginokusakawa, 33.308889° N, 131.211389° E, 18 March 2017, *M. Uzawa* 4060; Yufuin-machi, Tsukahara, in the vicinity of Yufuin Parking Area, 620 m elev., 33.308891° N, 131.403855° E, 12 March 2018, *H. Akiyama* 25413; Anshin'in-machi, Ukenokuchi, Iwaya, 245 m elev., 33.3809807° N, 131.3595792° E, 12 March 2018, *H. Akiyama* 25407 and 25408; Saiki-shi, Honjyo, Inoue, 70 m elev., 34.943661° N, 131.743191° E, 13 March 2018, *H. Akiyama* 25427; Takeda-shi, Kuju-machi, Kuju, 625 m elev., 33.029781° N, 131.282634° E, 13 March 2018, *H. Akiyama* 25433.

Kumamoto Pref.: Kumamoto Pref., Minamioguni-machi, Manganji, 560 m elev., 33.084917° N, 131.104434° E, 13 March 2018, *H. Akiyama 25435*.

Miyazaki Pref.: Nichinan-shi, Kobuse Falls, 140 m elev., 31.6373° N, 131.2464° E, 2 Sept. 2017, *H. Akiyama 25195* and *25196*; *ibid.*, Sakatani, Taneda, 120 m elev., 31.6372° N, 131.2526° E, 2 Sept. 2017, *H. Akiyama 25202*; Hinokage-cho, Ishigaki-no-mura, 250 m elev., 32.6982° N, 131.4033° E, 3 Nov. 2018, *M. Matsumoto s.n.*; Tsuno-cho, Kawakita, Osuzu Valley, parking lot, 400 m elev., 32.2855° N, 131.4661° E, 22

May 2019, *H. Akiyama 26013*.

Kagoshima Pref.: Kimotsuki-gun, Kanoya-shi, Kamitakakuma-cho, en route from Green Lodge to entrance of the trail to Mt. Oonogawa-dake, 170 m elev., 15 July 2014, *H. Akiyama 23819*; Kimotsuki-gun, Kimotuchi-cho, Mt. Hoyoshi, 650 m elev., 31.2500° N, 130.9667° E, 14 July 2014, *H. Akiyama 23810*.

Okinawa Pref.: Ogimi-son, Ada, just above the Ingah Bridge, 70 m elev., 26.7621° N, 128.3037° E, 7 Feb. 2018, *H. Akiyama 25376*.

Conocephalum salebrosus Szweyk., Buczk. & Odrzyk.

JAPAN.

Hokkaido Pref.: Rishiri Isl., Rishirifuji-cho, Oshidomari, 1530 m elev., *K. Kawai 15671*; *ibid.*, Oniwaki, Mt. Rishiri, 620–680 m elev., 45.164928° N, 141.256047° E, Sept. 2018, *A. Uchida 20180047 (712)*; Shari-cho, Raiun, 55–65 m elev., 43.83322° N, 144.642528° E, 13 July 2017, *A. Uchida 20170006* (Hokkaido-3); *ibid.*, Minehama, 190–200 m elev., 43.900333° N, 144.813583° E, 27 July 2017, *A. Uchida 20170015* (Hokkaido-6); *ibid.*, Fuji, Mt. Shari, 240–250 m elev., 43.808444° N, 144.779361° E, 30 July 2017, *A. Uchida 20170016* (Hokkaido-7); Kitami-shi, Midorigaoka-4, Midorigaoka Park, 200–250 m elev., 43.826694° N, 143.866944° E, 24 July 2017, *A. Uchida 20170010*; Sapporo-shi, Mt. Teine, in the vicinity of Nunojikinotaki Fall, 500 m elev., 43.0644° N, 141.1921° E, 1 Aug. 2019, *T. Furuki 25429*; *ibid.*, Mt. Soranuma, 470 m elev., 12 Aug. 2018, *T. Saeki 4673*; Urahoro-cho, Higashiyama-cho, 30–40 m elev., 42.808958° N, 143.671614° E, 28 April 2018, *A. Uchida 20180003 (686)*; *ibid.*, Atsunai, 80–110 m elev., 42.899642° N, 143.781294° E, 28 April, 2018, *A. Uchida 20180009 (697)*; Kamishihoro-cho, Shimizudani, 357 m elev., 43.309319° N, 143.314489° E, 9 May 2018, *Y. Oppata 3615*.

Aomori Pref.: Hirosaki-shi, Osuke, 40.566500° N, 140.339528° E, 125–175 m elev., 22 Aug. 2017, *Uchida 20170031* (Hirosaki-4); *ibid.*, Hirosaki Park, 38 m elev., 40.6097° N, 140.4646° E, 11 Sept. 2018, *M. Sawada 20180911-2*; Towada-shi, Takada, Mts. Hakkoda, Tsuta-onsen, 480 m elev., 40.596389° N, 140.954167° E, 18 Oct. 2018, *T. Yamaguchi 39375*; Higashitori-mura, Shitsukari, Kuwahatayama, 202 m elev., 41.3833° N, 141.4500° E, 6 Nov. 2018, *M. Sawada 20181106-1, 2* and *3*; Fukaura-machi, Iwasaki, 133 m elev., 40.5826° N, 139.9887° E, 25 Aug. 2019, *M. Sawada 20190825-2*; Sai-mura, Mt. Muidoushi, 579 m elev., 41.3167° N, 140.8500° E, 21 Sept. 2018, *M. Sawada 20180921*.

Iwate Pref.: Ichinohe-machi, Nesori, Kawamukai, 240 m elev., 40.1907° N, 141.3356° E, 18 March 2021, *S. Sato 2021310-1*; *ibid.*, Torikoe Shrine, 150 m elev., 40.2376° N, 141.2815° E, 18 March 2021, *S. Sato 2021318-5*.

Miyagi Pref.: Shitikashuku-machi, Watarase Wind Hole, Aug. 1993, *H. Akiyama s.n.* (see Akiama and Hiraoka 1994).

Yamagata Pref.: Yonezawa-shi, Shirabu-onsen spa, 1130 m elev., 37.77144° N, 140.132267° E, 23 Sept. 2019, *H. Shirasaki 26635*.

Tochigi Pref.: Sano-shi, Akiyama-cho, 365 m elev., 36.547275° N, 139.507441° E, 24 March 2018, *H. Ikeda 647*; Kanuma-shi, Iriawano, 950 m elev., 36.618400° N, 139.532290° E, 4 June 2018, *Y. Ohshima s.n.*; Sano-shi, Akiyama-cho, 365 m elev., 36.547275° N, 139.507441° E, 24 March 2018, *H. Ikeda 647*; Tochigi-shi, Izuru-cho, in the vicinity of Manganji temple, 340 m elev., 36.4789° N, 139.5859° E, 11 May 2018, *T. Saeki 4463*.

Gunma Pref.: Tsumagoi-mura, Oomae, Hosohara, 26 Nov. 2017, *A. Yoshida 43*; Higashi-Agatsuma-machi, Iwai, 347 m elev., 36.53° N, 138.84° E, 1 Dec. 2017, *K. Nakazawa 1004*; *ibid.*, Koizumi, 412 m elev., *K. Nakazawa 1022*; Ueno-ura, Narahara, 700 m elev., 36.081833° N, 138.737639° E, 30 Dec. 2017, *M. Kimura 8417*; Kannna-machi, Kagahara, 435 m elev., 36.090556° N, 138.82741° E, 30 Dec. 2017, *M. Kimura 8419*; *ibid.*, 500 m elev., 36.072139° N, 138.829222° E, 30 Dec. 2017, *M. Kimura 8418*; Fujioka-shi, Shimohino, Kuroishi, 290 m elev., 36.203200° N, 138.987319° E, 31 Dec. 2017, *M. Kimura 8421*.

Ibaraki Pref.: Kitaibaragi-shi, Hanakawa-cho, Hanazono Shrine, 410 m elev., 36.860525° N, 140.628152° E, 9 March 2019, *H. Akiyama 25950*; *ibid.*, Okubo-cho, Okubo Window hole, 125 m elev., 36.5643° N, 140.6087° E, 9 March 2019, *H. Akiyama 25961* and *25965*; *ibid.*, 11 Dec. 2018, *M. Uzawa 4771*.

Saitama Pref.: Chichibu-shi, Otaki, Jyumonji-toge Pass,

1970 m elev., 35.9434° N, 138.7343° E, Sept. 2018, *T. Furuki 25098*; *ibid.*, en route from Mitsumineguchi to Suba, 350 m elev., 35.954394° N, 138.966105° E, 7 March 2019, *H. Akiyama 25940*.

Tokyo Metr.: Hachiouji-shi, Takao-cho, Mt. Takao, 6th trail, 4 Dec. 2017, *H. Akiyama 25274*; *ibid.*, Hikage-zawa, 4 Dec. 2017, *H. Akiyama 25285*; Uratakao-cho, 4 Dec. 2017, *H. Akiyama 25290*; Okutama-cho, Nippara, in the vicinity of Limestone Cave, 630 m elev., 35.8520° N, 139.0405° E, 5 Dec. 2017, *H. Akiyama 25291* and *25292*; *ibid.*, Higashinippara, 615 m elev., 35.8471° N, 139.0388° E, 5 Dec. 2017, *H. Akiyama 25296*, *25297* and *25298*; *ibid.*, Nippara, Kurasawa, 510 m elev., 35.8428° N, 139.0625° E, 5 Dec. 2017, *H. Akiyama 25302*.

Yamanashi Pref.: Hokuto-shi, Kiyosato, 1360 m elev., 35.930000° N, 138.433889° E, 3 June 2018, *H. Ishiko 180603*.

Shizuoka Pref.: Kawanehon-cho, Kurishiro, 35.182750° N, 138.153000° E, 22 Dec. 2017, *M. Ohta 2017122201*.

Nagano Pref.: Karuizawa-cho, Nagakura, Shiraitonotaki trail, 26 Nov. 2017, *A. Yoshida 44*; Matsukawa-cho, Ikuta, 35.588015° N, 137.975924° E, 17 Dec. 2017, *M. Ohta 2017121702*; Chino-shi, Toyotaira, upper reach of Shibukawa-onsen Spur, 1650 m elev., 36.0367° N, 138.3050° E, 28 June 2019, *T. Furuki 25367*; *ibid.*, Meiji-onsen Spur, 9 Sept. 2018, *M. Michimori 201809091*; Ina-shi, Ina, foot of Mt. Chausu, 1373 m elev., 35.825031° N, 137.854775° E, 1 July 2018, *Y. Oishi 20180701-1*; Kiso-machi, Mitake, 885 m elev., 35.86417° N, 137.59931° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25698*; *ibid.*, 812 m elev., 35.83676° N, 137.63362° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25699*; Nagiso-machi, Ohira Pass, 1350 m elev., 35.55293° N, 137.69433° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25706*; Iida-shi, Iida Pass, 1220 m elev., 35.55606° N, 137.73500° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25707*; Fujimi-cho, foot of Mt. Nyugasa, 1640 m elev., 35.899722° N, 138.188611° E, 30 Aug. 2018, *T. Fukuda s.n.*; Ueda-shi, backyard of Ryukoin Temple, 585 m elev., 36.3386° N, 138.1917° E, 18 June 2019, *M. Uzawa 5012*; Matsumoto-shi, Azumi, Sawando, Sawando Bridge, 1020 m elev., 36.162778° N, 137.660000° E, 19 Sept. 2019, *M. Uzawa 5194*.

Niigata Pref.: Murakami-shi, Takane, Suzugataki, 340 m elev., 38.342500° N, 139.667500° E, 9 Sept. 2018, *H. Shirasaki 25383*.

Toyama Pref.: Toyama-shi, Arimine, Oritate, 1130 m elev., 36.48883° N, 137.46329° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama 25676*; *ibid.*, 1360 m elev., 36.48274° N, 137.47443° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama 25679*.

Gifu Pref.: Gero-shi, Kosaka-cho, Nigorigo-onsen, 1747 m elev., 35.923278° N, 137.447778° E, 31 July 2018, *M. Chishiki 5851*; Yamagata-shi, Taguri, 154 m elev., 35.599967° N, 136.746410° E, 23 March 2021, *H. Akiyama 26562*.

Mie Pref.: Matsusaka-shi, Iitaka-cho, Hachisu, Miyanotani

valley, 450-600 m elev., 34.340278° N, 136.146111° E., 18 May 2017, *H. Akiyama 24973*; Nabari-shi, Akame-shijuhachi-taki valley, beside the Senjyutak fall, 377 m elev., 34.5609° N, 136.0891° E, 27 May 2019, *H. Akiyama 26043*; *ibid.*, in the vicinity of Ryugatubo, 384 m elev., 34.5603° N, 136.0900° E, 27 May 2019, *H. Akiyama 26044*.

Shiga Pref.: Maibara-shi, Mt. Ibuki, 600m NEE from summit car park, 1166 m elev., 35.425681° N, 136.416271° E, 16 Sept. 2019, *Y. Kasai 7607*.

Kyoto Pref.: Kyoto-shi, Nishikyo-ku, Arashiyama, Genrokuzan-cho, *T. Saeki 4342*; *ibid.*, *H. Akiyama 25807*; Kyotanba-cho, Shizushi Limestone Cave, 380 m elev., 10 Sept. 2011, *H. Akiyama 21981*.

Nara Pref.: Tenkawa-mura, Dorogawa, in the vicinity of Godaimatu limestone cave, 900 m elev., 34.2651° N, 135.8950° E, 20 Oct. 2019, *T. Saeki 5209*.

Hyogo Pref.: Yabu-shi, Oya-cho, Yokoiki Valley, 770 m elev., 35.3072° N, 134.5218° E, 30 Nov. 2020, *H. Akiyama 26470*; *ibid.*, 30 March 2021, *H. Akiyama 26617*.

Okayama Pref.: Niimi-shi, Ikura, Ikura limestone Cave, 140 m elev., 34.930000° N, 133.523056° E, 10 July 2017, *H. Akiyama 25103*; *ibid.*, Rasyomon, Sept. 2019, *A. Kato s.n.* (photos); Hisaka Limestone Cave, Aug. 2019, *H. Akiyama s.n.*

Hiroshima Pref.: Shobara-shi, Tojo-cho, Kami-Taishakukyo, ca. 410 m elev., 34.867500° N, 133.207222° E, 10 July, 2017, *H. Akiyama 25094*, *25097*, *25098*, *25099* and *25100*; *ibid.*, 14 March 2018, *H. Akiyama 25437* and *25438*.

Yamaguchi Pref.: Mine-shi, Taishodo limestone cave, 160 m elev., 34.2771° N, 131.3187° E, 8 Dec. 2017, *M. Hayashi 25598*.

Tokushima Pref.: Miyoshi-shi, Higashiiyadani, Mt. Tsurugij, 1780 m elev., 33.856944° N, 134.092500° E, 17 July 2018, *M. Saji 1529*; *ibid.*, 1750 m elev., 33.857222° N, 134.091667° E, 17 July 2018, *M. Saji 1530*; Kamikatsu-cho, Masaki, Jiganji temple, 33.941725° N, 134.427392° E, 7 April, 2020, *M. Saji 2998*.

Ehime Pref.: Toon-shi, Kamibayashi Forest Park, in the vicinity of a wind-hole, 980 m elev., 33.72278° N, 132.88535° E, 18 Oct. 2018, *K. Iwata 4467*, *4468* and *4469*.

Fukuoka Pref.: Kitakyusyu-shi, Kokuraminami-ku, Hiraodai, Ubusune-no-hokora, 33.75089° N, 130.8941° E, 24 March 2018, *K. Honda s.n.*; *ibid.*, 390 m elev., 29 Aug. 2019, *H. Akiyama 26704* and *26706*; Kama-shi, Mt. Kosho-san, Okunoin, at the base of limestone cliff, 840 m alt., 33.4839° N, 130.7252° E, 9 Nov. 2020, *T. Ohya 601*; *ibid.*, 539 m elev., 33.481389° N, 130.720278° E, 28 Oct. 2020, *M. Chishiki s.n.*

Kumamoto Pref.: Yamae-mura, Man'e, 750 m elev., 25 July 2018, *M. Matsumoto s.n.*

TAIWAN.

Nantou Co.: Ren'ai township, Mt. Hehuanshan, behind the High altitude experimental branch, 3000 m elev., 24.1617° N,

121.2869° E, 31 May 2018, *H. Akiyama 25580*; *ibid.*, along Renhe Road, in the vicinity of Ren'ai, 2340 m elev., 24.10° N, 121.20° E, 1 June 2018, *H. Akiyama 25611* and *25612*;

ibid., in the vicinity of Ren'ai, Rueiyan River Major Wildlife Habitat, 2200 m elev., 24.1042° N, 121.1973° E, 1 June 2018, *H. Akiyama 25613, 25614, 25615* and *25616*.

Conocephalum toyotae H. Akiyama

JAPAN.

Hokkaido Pref.: Rishiri Isl., Rishirifuji-cho, Oniwaki, Mt. Rishiri, 700–720 m elev., 45.168789° N, 141.251500° E, 8 Sept. 2018, *A. Uchida 20180051 (713)*; *ibid.*, Oshidomari, Himenuma, 130 m elev., 45.226108° N, 141.247228° E, 27 June 2018, *K. Kawai 15682*; Nakagawa-cho, 30–50 m elev., 44.800178° N, 142.077539° E, 10 Sept. 2018, *A. Uchida 20180058 (716)*; Shari-cho, Honmachi, 5–15 m elev., 43.913667° N, 144.670222° E, 07 July 2017, *A. Uchida 20170004* (Hokkaido-1); *ibid.*, Raiun, 60–65 m elev., 43.835222° N, 144.643000° E, 12 July, 2017, *A. Uchida 20170005* (Hokkaido-2); Kamikawa-cho, Aizan-kei, 1040–1060 m elev., 43.717528° N, 142.818083° E, 2 Aug. 2017, *A. Uchida 20170020* (Hokkaido-9); *ibid.*, Soun-kyo, 750–850 m elev., 43.720278° N, 142.960306° E, 4 Aug. 2017, *A. Uchida 20170023* (Hokkaido-11); Kamishihoro-cho, 309 m elev., 43.250351° N, 143.353432° E, 9 May 2018, *Y. Oppata 3610*; Sapporo-shi, Mt. Soranuma, 470 m elev., 12 Aug. 2018, *T. Saeki 4672*; *ibid.*, Minami-ku, Tokiwa-Nijyo, Sapporo Art Park, 20 Aug. 2018, *T. Saeki 4675* and *4676*; Makkari-mura, Yashiro, Yoteizan Nature Park, 18 Aug. 2018, *T. Saeki 4674*; Kuromatsunai-cho, Kuromatsunai, in the vicinity of *Fagus crenata* Center, 95 m elev., 42.651111° N, 140.306389° E, 16 Sept. 2018, *Y. Oppata Yo-3707*; Otaru-shi, Nagahashi, Naebo Park, 80 m elev., 43.26° N, 140.98° E, 30 July 2019, *T. Saeki 5159*.

Aomori Pref.: Hirosaki-shi, Hyakuzawa, 135–145 m elev., 40.649806° N, 140.371194° E, 19 Aug. 2017, *A. Uchida s.n.* (Hirosaki-1); Towada-shi, Takada, Mts. Hakkoda, Tsuta-onsen, 480 m elev., 40.596389° N, 140.954167° E, 18 Oct. 2018, *T. Yamaguchi 39376*; *ibid.*, 470 m elev., 40.596389° N, 140.953056° E, 31 May 2018, *T. Saeki 4501* and *4502*; *ibid.*, Oirase-keikoku valley, Sept. 2018, *E. Tamagawa s.n.*; *ibid.*, 250 m elev., 22 Oct. 2018, *M. Sawada 20181022-1*; Aomori-shi, Shinjyou-hiraoka, Morinohiroba Park, 50 m elev., 40.7997° N, 140.6715° E, May 2018, *M. Sawada 20180506*.

Akita Pref.: Higashinaruse-mura, Iwaigawa, Kakkyogawa National Forest, Tensho Fall, 440 m elev., 39.1790° N, 140.7528° E, 18 Aug. 2020, *S. Sato TSF 1*.

Yamagata Pref.: Nishimurayama-gun, Nishikawa-machi, Iwanezawa, 420 m elev., 38.456988° N, 140.100939° E, 11 Dec. 2019, *M. Kimura 8626*; Sagae-shi, Jionji, Jionji temple,

165 m elev., 38.410174° N, 140.249627° E, 11 Dec. 2019, *M. Kimura 8629*.

Iwate Pref.: Ichinohe-machi, Nesori, Kawamukai, 240 m elev., 40.1907° N, 141.3956° E, 18 March 2021, *S. Sato 2021318-3*.

Miyagi Pref.: Kurihara-shi, Hanayama, Kusakizawa Kadoma, 240 m elev., 38.786886° N, 140.788652° E, 19 Sept. 2019, *N. Morita 5*.

Fukushima Pref.: Hinoemata-mura, Mt. Hiuchi, Oze, Dangoya-saka, 1584 m elev., 36.9357° N, 139.2746° E, 31 Aug. 2019, *S. Nemoto 974*.

Tochigi Pref.: Nikko-shi, Yumoto, 1566 m elev., 36.804526° N, 139.412878° E, 14 June 2018, *Y. Ohshima s.n.*

Gunma Pref.: Tone-gun, Minakami-machi, Mt. Omine, Minamigatani moor, 1050 m elev., 36.7353° N, 138.9207° E, 12 Oct. 2020, *K. Nakazawa 8131*.

Nagano Pref.: Kisofukushima-shi, Kaidakogen, Shimonohara, 1200 m elev., 35.967° N, 137.550° E, 2 Oct. 2016, *H. Akiyama 24820*; *ibid.*, Nishisatoko, 1270 m elev., 35.97106° N, 137.54943° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25696*; Iida-shi, Iida Pass, 1220 m elev., 35.55606° N, 137.73500° E, 30 Aug. 2018, *H. Akiyama 25708*; Shimojyo-mura, Yohi, 560 m elev., 35.372963° N, 137.791048° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25717*; Anan-cho, Shinno, 890 m elev., 35.243581° N, 137.762288° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama 25721*; Karuizawa-machi, Nagakura, Shiraitonotaki-fall trail, 1260 m elev., 36.4099° N, 138.5942° E, 26 Nov. 2017, *A. Yoshida 44* and *45*; Ueda-shi, Bessho Spur, Bessho-Hizawa Wind Hole, 820 m elev., 36.3338° N, 138.1487° E, 18 June 2019, *M. Uzawa, Y. Degawa and T. Hosono 5025*.

Niigata Pref.: Yuzawa-cho, Mt. Naeba, 959 m elev., 36.88859° N, 138.754256° E, 17 June 2018, *H. Shirasaki 25259*; Itoigawa-shi, Kajiyama, Mt. Nokogiri, 1180 m elev., 36.921389° N, 137.968333° E, 15 July 2018, *H. Shirasaki 25292*; Myoko-shi, Ikenotaira, Imoriike pond, 740 m elev., 36.866111° N, 138.177023° E, 19 Oct. 2019, *H. Shirasaki 26686* (intermingled with *C. orientalis*); Uonuma-shi, Ozegahara, in the vicinity of Toden lodge, 1390 m elev., 39.944721° N, 139.242525° E, 12 July 2020, *M. Uzawa 5550*.

Toyama Pref.: Toyama-shi, Nakachiyama, 337 m elev., 36.57113° N, 137.37194° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama 25672*; *ibid.*, Arimine, 905–1100 m elev., 36.51058–36.41950°

N, 137.43948–137.4499° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama* 25673, 25674, 25475, 25680, 25681, 25682, 25683 and 25684; *ibid.*, Oritate, 1130 m elev., 36.48883° N, 137.46329° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama* 25677; Tateyama-machi, Ashikuraji, between Hyakken-Nameri and Ryujitaki fall, 740 m elev., 36.570058° N, 137.446152° E, 30 Aug. 2018, *M. Michimori* 20180830-1 and 2.

Ishikawa Pref.: Hakusan-shi, Chugu, backyard of Exhibition Center building, 600 m elev., 36.261304° N, 136.76056° E, 27 Aug. 2018, *H. Akiyama* 25663.

Gifu Pref.: Hida-shi, Kamioka-cho, Iwaitani, 880 m elev., 36.39347° N, 137.38170° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama* 25687; *ibid.*, Wasafu, Yamanomura camping site, 980 m elev., 36.40038° N, 137.39699° E, 29 Aug. 2018, *H. Akiyama* 25689; Gujyo-shi, Meiho, Hatasa, 800 m elev., 35.858220° N, 137.070470° E, 24 March 2021, *H. Akiyama* 26589.

Aichi Pref.: Toyone-mura, Sakauba, 890 m elev., 35.186686° N, 137.675099° E, 31 Aug. 2018, *H. Akiyama* 25724.

Mie Pref.: Inabe-shi, Fujiwara-cho, Oogaito, Mt. Oike, 712 m elev., 35.1886° N, 136.4239° E, 4 April 2018, *M. Chishiki* 5845 (intermingled with *C. orientalis*); Matsusaka-shi, Sakanai-cho, en route to Sakanai Fudo Shrine, 205 m elev., 34.526074° N, 136.430977° E, 03 Oct. 2019, *N. Morita* 7 (intermingled with *C. orientalis*); *ibid.*, 240 m elev., 34.526396° N, 136.431006° E, 14 March 2021, *N. Morita s.n.*

Kyoto Pref.: Kyoto-shi, Sakyo-ku, Kurama-Kibune-cho, 340 m elev., 35.128611° N, 135.765278° E, 13 Dec. 2017, *T. Saeki* 4345; Nantan-shi, Miyama-cho, Ashu, 412 m elev., 35.320000° N, 135.720278° E, 30 Oct. 2018, *M. Chishiki* 5864.

Nara Pref.: Uda-shi, Haibara, Nizaka, Fukatani-Ryuchin

valley, 320 m elev., 34.54888° N, 136.0111° E, 18 April 2019, *T. Saeki* 4985; Yoshino-gun, Kawakami-mura, Ikari, 770 m elev., 33.340324° N, 136.009267° E, 17 Jan. 2020, *M. Kimura* 8634.

Hyogo Pref.: *ibid.*, Ohya-cho, Yokoiki-keikoku valley, 980 m elev., 35.3409° N, 134.5276° E, 9 Oct. 2018, *H. Akiyama* 25796 (intermingled with *C. orientalis*); *ibid.*, 30 Nov. 2020, *H. Akiyama* 26466; *ibid.*, 30 March 2021, *H. Akiyama* 26611; Shinonsen-cho, Kishida, upper reach of Kishiada river, Kiritaki-keikoku, 450 m elev., 35.4652° N, 134.4689° E, 29 Nov. 2018, *H. Akiyama* 25822 and 25823.

Okayama Pref.: Kagamino-cho, Kamisaibara, 915 m elev., 35.344722° N, 133.998333° E, 26 Nov. 2019, *M. Chishiki* 5821.

Tottori Pref.: Aoya-cho, Tawaradani, Fudotaki Fall, 83 m elev., 35.476667° N, 133.969444° E, 30 Oct. 2019, *M. Chishiki s.n.*; Kofu-cho, Mitsukue, 600 m elev., 25 Aug. 2018, *A. Kato s.n.*; Saji-cho, Tatsumi-toge pass, 746 m elev., 35.315265° N, 134.002508° E, 26 Aug. 2019, *H. Akiyama* 26087.

Tokushima Pref.: Katsuura-machi, Tanano, Mamidani, 410 m elev., 33.870000° N, 134.455556° E, 26 Nov. 2016, *M. Toyota s.n.* (intermingled with *C. orientalis*); *ibid.*, 19 Nov. 2017, *H. Akiyama* 25254 (intermingled with *C. orientalis*); Anan-shi, Mizui-cho, Wakasugidani, 190 m elev., 33.894167° N, 134.522222° E, 24 Dec. 2018, *M. Saji* 1891.

Ehime Pref.: Saijyo-shi, Fujinoishi, Mt. Kanpuzan, 1547 m elev., 33.808333° N, 133.257500° E, 24 Sept. 2018, *M. Chishiki* 5858; *ibid.*, 1550 m elev., 33.80757° N, 133.26030° E, 28 Oct. 2018, *K. Iwata* 4495; Kita-gun, Uchiko-cho, Nakagawa, Odamiyama-keikoku, 800 m elev., 33.53120° N, 132.89399° E, 22 March 2019, *K. Iwata* 4769.

Legends for Plates.

Plate 1. *Conocephalum orientalis* (1).

A: Young female plants. B: Ditto, underside. C: Ditto. Note that thallus of last growing season changed color into deep reddish purple on undersides. D: Young male plants. E: New male receptacles are often born on a short petiolate branch, which can raise them into higher position. F: Old male plants (male receptacles already dropped-off). G: Newly produced thalli are sometime tinged reddish purple even in spring and summer seasons. H: Plants under diffused light often produce thin thalli, which resemble those of *C. salebrosum*. I: Comparison of thin thallus (left) and normal thallus (right) of *C. orientalis*. J: Female receptacle (carpocephalum) with fertilized sporophytes inside. K: Carpocephala on the top of elongated stalks. L: Plants from Taiwan with reddish purple color on ventral surface. A–E: Hyogo Pref., Tatsuno-shi, 8 June 2018. F: Tokyo Metr. Mt. Takao, 4 Dec. 2017. G: Ditto., 22 June 2017 (photo taken by Ms. S. Suzuki). H: Mie Pref., Nabari-shi, 26 Nov. 2017. I: Hyogo Pref., Kamigori-cho, 8 Sept. 2020. J: Tokyo Metr. Mt. Takao, 4 Dec. 2017. K: Mie Pref., Nabari-shi, 31 March 2018. L: Taiwan, Chito, 7 June 2018, *Akiyama 25656*. Scale bars = 5 mm.

Plate 2. *Conocephalum orientalis* (2). Variation in thallus appearance including J2 and J3 types.

A: Morphological variation within a single population. B: Plants can grow directly on boulder in southwestern Japan, where rain falls heavily. C and D: Color variation within a single locality. Plants with yellowish color tend to grow at more sunny places. E and F: J2 type of *C. orientalis*, with wavy thallus margins. G–L: J3 types of *C. orientalis* with reddish purple color on ventral surface of thallus. Note that dorsal grooves between air chambers more or less distinctly blackish reddish purple in color. A: Mie Pref., Nabari-shi, 14 June 2016. B: Miyazaki Pref., Nichinan-shi, 2 Sept. 2017. C and D: Aomori Pref., Towada-shi, Tsuta-spur (*C: Yamaguchi 39375*. D: *Yamaguchi 39374*). E and F: Tokushima Pref., Tokushima-shi, 10 March 2018 (*Akiyama 25379*). G and H: Hokkaido Pref., Shari-cho, 13 July 2017 (*Uchida s.n.*). I and J: Aomori Pref., Hirosaki-shi, 5 July 2020 (*Chishiki s.n.*). K and L: Hyogo Pref., Mt. Hyonoson, 9 Oct. 2018 (*Akiyama 25776*). Scale bars = 5 mm.

Plate 3. *Conocephalum purpureorubrum* (1) Western Japanese form (FW).

A and C: Dorsal surfaces of thalli. B and D: Ventral surfaces of thalli, totally or partially tinged reddish purple. E and F: Thalli not tinged reddish purple except for midrib and ventral scales. G and H: Carpocephala with matured sporophytes. I and J: Variation in appearance of dorsal surfaces of thalli within a single population. A and B: Mie Pref., Nabari-shi, 28 May 2019 (*Akiyama 26043*). C and D: Taiwan, Nantou Co. Xitou, 7 June 2018 (*Akiyama 25655*). E and F: Tokushima Pref., Kamikatsu-cho, 24 June 2017 (*Akiyama 25067*). G: Oita Pref., Saeki-shi, 13 March 2018. H: Oita Pref., Yufuin-machi, 12 March 2018. I and J: Fukuoka Pref., 29 Aug. 2019 (*Akiyama 26705*). Scale bars = 5 mm.

Plate 4. *Conocephalum purpureorubrum* (2) Eastern Japanese form (FE).

A–I: Variation of dorsal and ventral surfaces of thalli. A–C: Chiba Pref., Kyonan-machi, 9 Oct. 2018 (*Furuki 25043*). D: Toyama Pref., Tateyama-cho, 30 Aug. 2018 (*Michimori s.n.*). E: Tochigi Pref., Nikko-shi, 27 Apr. 2018 (*Ohshima s.n.*). F and G: Tokyo Metro., Mt. Takao, 4 Dec. 2017 (*Akiyama 25283*). H: Tokyo Metro., Okutama-cho, 5 Dec. 2017 (*Akiyama 25301*). I: Nagano Pref., Kiso-machi, 30 Aug. 2018 (*Akiyama 25700*). Scale bars = 5 mm.

Plate 5. *Conocephalum salebrosum*.

A: Dorsal surfaces of thalli. B: Dorsal and ventral surfaces of thalli. C: Plants on boulder covered with thin soil at Mt. Takao (Lower right: *C. orientalis* directly growing on soil). D: Ditto. Close-up of dry thalli. E: Plants growing on limestone boulder with very thin thallus. F: Plants growing on limestone cliff. G: Ditto. Close-up of both surfaces of thalli. H: Thallus with immature female carpocephalum. I: Plants growing on moist limestone wall. J: Ditto. Close-up of thalli. K: Plants at shaded, moist place becoming small in size. A: Tokushima Pref., Mt. Tsurugi, 17 July 2018 (*Saji 1529*). B: A: Taiwan, Taichung, 7 June 2018 (*Akiyama 25613*). C and D: Tokyo Metro., Mt. Takao, 4 Dec. 2017. E: Hokkaido Pref., Mt. Soranuma, 12 Aug. 2018 (*Saeki 4673*). F and G: Fukuoka Pref., Hiraodai, 30 Aug. 2019. H: Nagano Pref., Mts. Yatsugatake, 28 June 2019 (*Furuki 25367*). I–K: Tokyo Metro., Nippara, 5 Dec. 2017. Scale bars = 5 mm.

Plate 6. *Conocephalum toyotae*.

A and B: Typical habitat along a trail in *Cryptomeria japonica* plantation along a small and deep ravine. C: Suburban road-side habitat, mixed with *C. orientalis*. D: Female plant with a carpocephalum with fertilized sporophytes inside. E: Ditto. F: Ventral surfaces of female plants with carpocephala. G: Dorsal and ventral surfaces of thalli. H: Dorsal surface of thalli. I: Plants with poorly developed air chambers, showing reddish color of ventral tissues. J: Female plants with slightly developed carpocephala within cavities at the top of thalli. A, B and H: Tokushima Pref., Katsuura-machi, 19 Nov. 2017. C: Toyama Pref., Toyama-shi, 19 Aug. 2018. D–F: Toyama Pref., Tateyama-cho, 30 Aug. 2018 (*Akiyama 25673*). G: Hokkaido Pref., Sapporo-shi, 12 Aug. 2018 (*Saeki 4672*). H: Nagano Pref., Kaidakogen, 30 Aug. 2018 (*Akiyama 25696*). J: Nagano Pref., Iida-shi, 30 Aug. 2018 (*Akiyama 25708*). Scale bars = 5 mm.

Plate 7. Sporophytes and carpocephala with fertilized sporophytes of the 4 species of Japanese *Conocephalum*.

A and B; *C. purpureorubrum*. C and D; *C. salebrosum*. E and F; *C. orientalis*. G and H: Sporophytes and carpocephala bearing mature sporophytes for *C. purpureorubrum* (above), *C. salebrosum* (middle), and *C. orientalis* (below). I and J: *C. toyotae*. A: Tokyo Metro., Takao-san, 4 Dec. 2018. B, G (above) and H (above): Oita Pref., Saiki-shi, 13 March 2018. C, D, G (middle), and

H (middle): Hiroshima Pref., Taishaku-kyo, 14 March 2018. E, F, G (below) and H (below): Tokyo Metro, Takao-san, 4 Dec. 2018. I: Toyama Pref., Arimine, 29 Aug. 2018. J: Toyama Pref., Tateyama-cho, 11 June 2020. Scale bars = 2 mm.

Plate 8. Transverse sections of epidermis of *Conocephalum* species.

Note that (1) thick walls in *C. orientalis* and FE-form of *C. purpureorubum*, which cause their shiny appearance, and (2) scarcely furrowed grooves between air chambers in *C. salebrosum*. A, C, E, G, I, K, M, O and Q are from costal regions, and the others from wings. A–D: *C. orientalis* (A and B: Akiyama 25068. C and D: Ikeda 702). E–H: *C. purpureorubum* (FE-form. E and F: Akiyama 25944. G and H: Akiyama 25272). I–L: *C. purpureorubum* (FW-form. I and J: Akiyama 26103. K and L: Akiyama 25196). M–P: *C. salebrosum* (M and N: Akiyama 25615. O and P: Akiyama 25438). Q–S: *C. toyotae* (Q: Toyota 20161126. S: Morita s.n.). Scale bar = 25 µm.

Plate 9. Mucilage canals and mucilage cells.

A–C and E: *Conocephalum salebrosum*. D and F: *C. purpureorubrum*. G: *C. toyotae*. H: *C. orientalis*. All samples except for H were soaked in 50 % methanol. A and B: Mucilage canals running along midribs and mucilage cells scattered over wings. (Hokkaido Pref., Shari-cho, Uchida s.n.). C: Ditto. (Yamagata Pref., Yonezawa-shi, Shirasaki 26635). D: Short mucilage canals and mucilage cells in aerenchyma just under a surface of carpocephalum (Miyazaki-shi, Nichinan, Matsumoto 20191212). E–G: Transverse sections of thalli showing cross-sections of mucilage canals. Note that *C. toyotae* lacks mucilage canals. H: Leak of transparent mucilage from cross-sections of mucilage canals. Scale bars = 5 mm (A and D); 1 mm (B and D); 200 µm (E–G); 20 µm (H).

Plate 10. Distribution maps (1).

A: *Conocephalum orientalis* (blank circle). B: *C. purpureorubum* (green square; including both Western and Eastern Japanese forms).

Plate 11. Distribution maps (2).

A: *Conocephalum salebrosum* (red square). B: *C. toyotae* (black star).



Plate 1. *Conoceophalum orientalis* (1).



Plate 2. *Conocephalum orientalis* (2).



Plate 3. *Conocephalum purpureorubrum* Western Japanese form (FW).

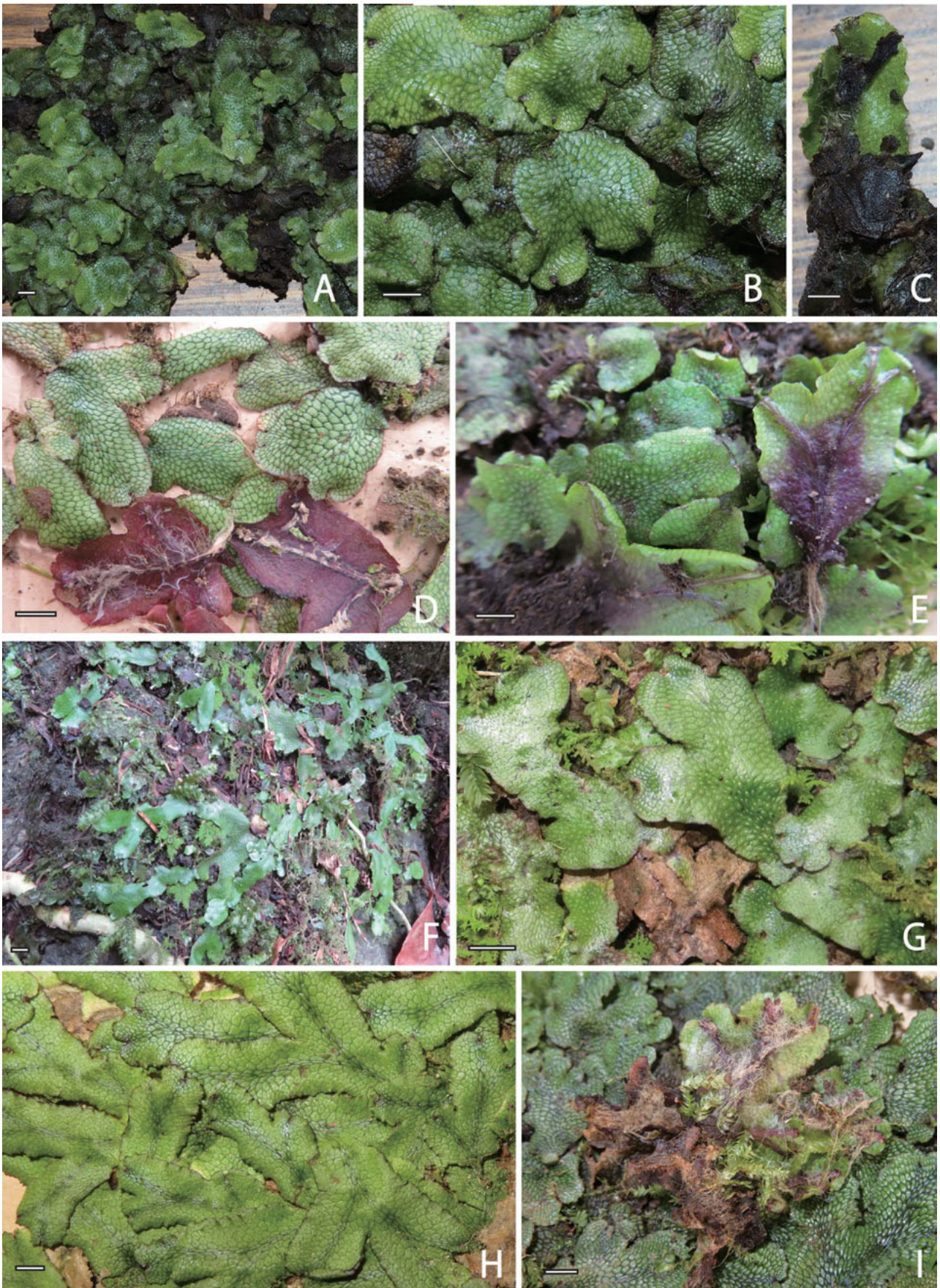


Plate 4. *Conocephalum purpureorubrum* Eastern Japanese form (FE).

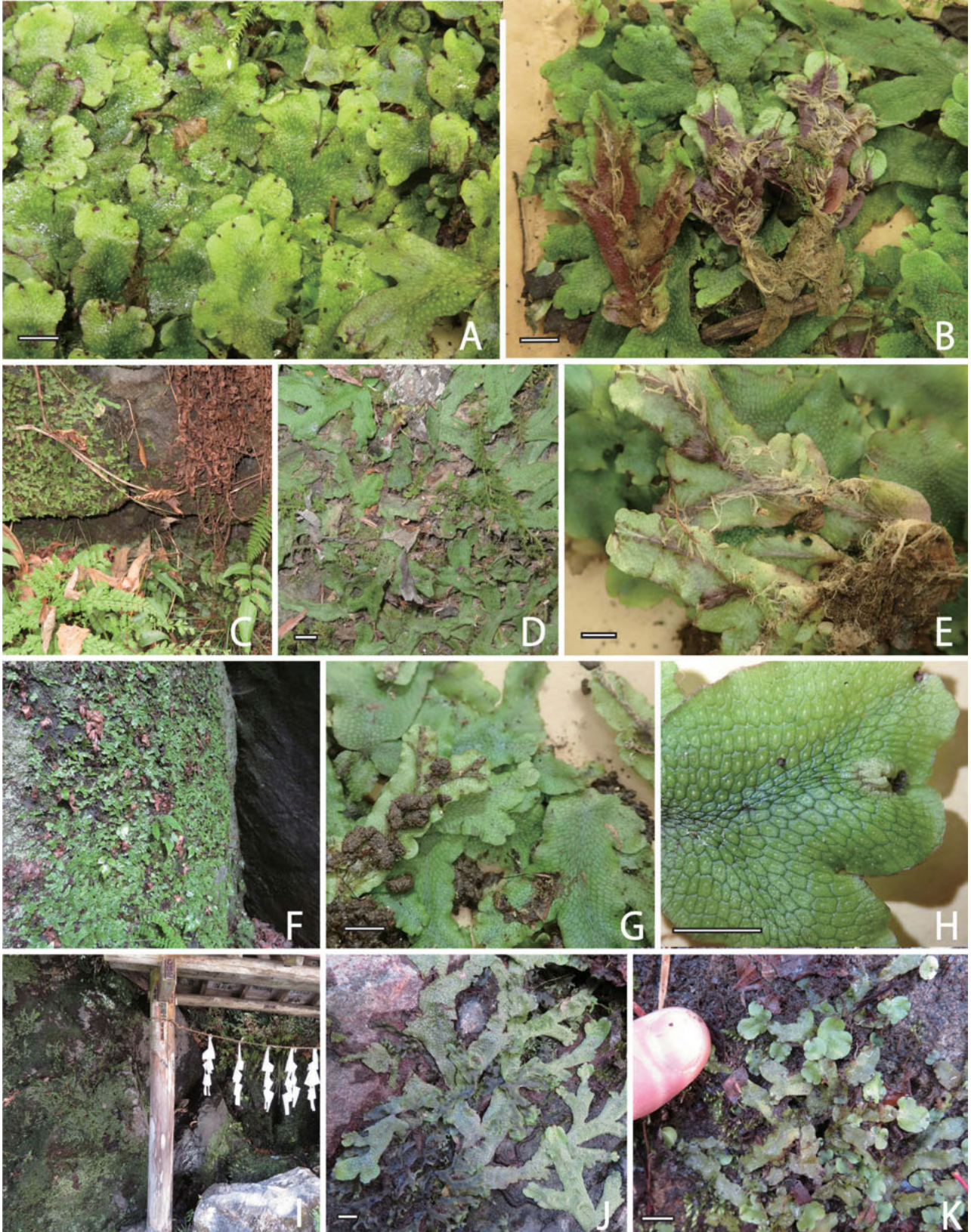


Plate 5. *Conocephalum salebrosum*.



Plate 6. *Conocephalum toyotae*.

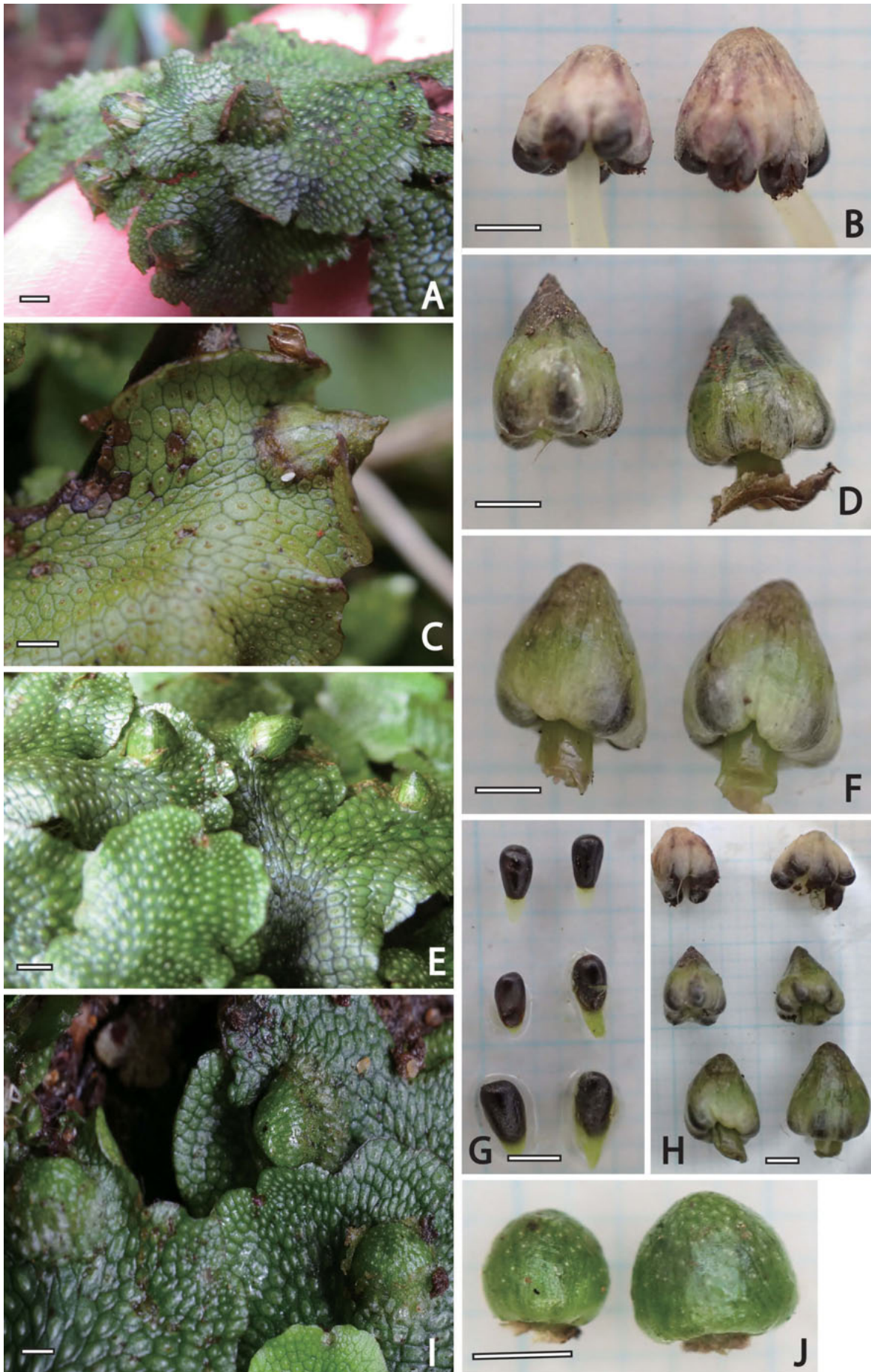


Plate 7. Sporophytes and carpocephala.

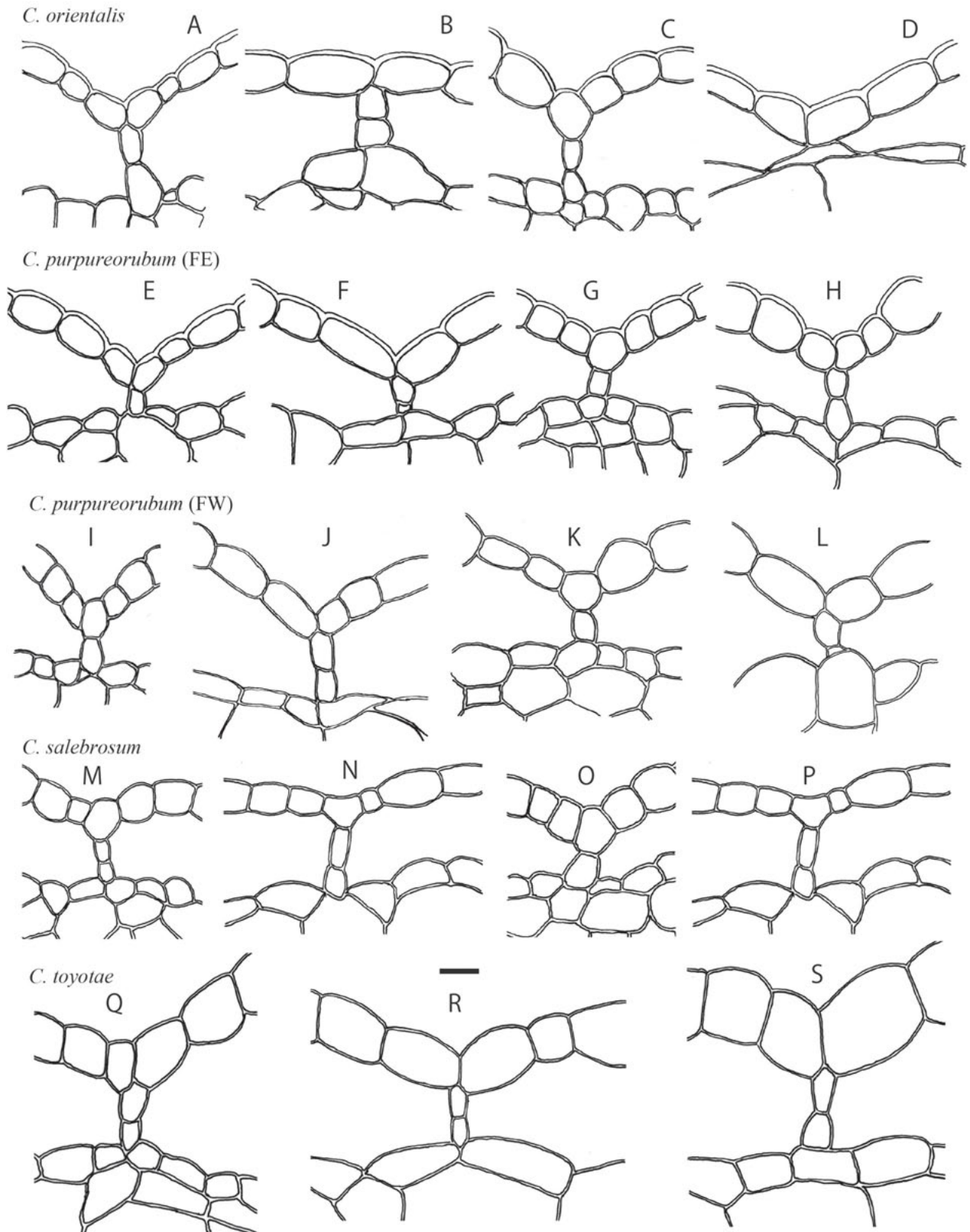


Plate 8. Transverse sections of epidermis.

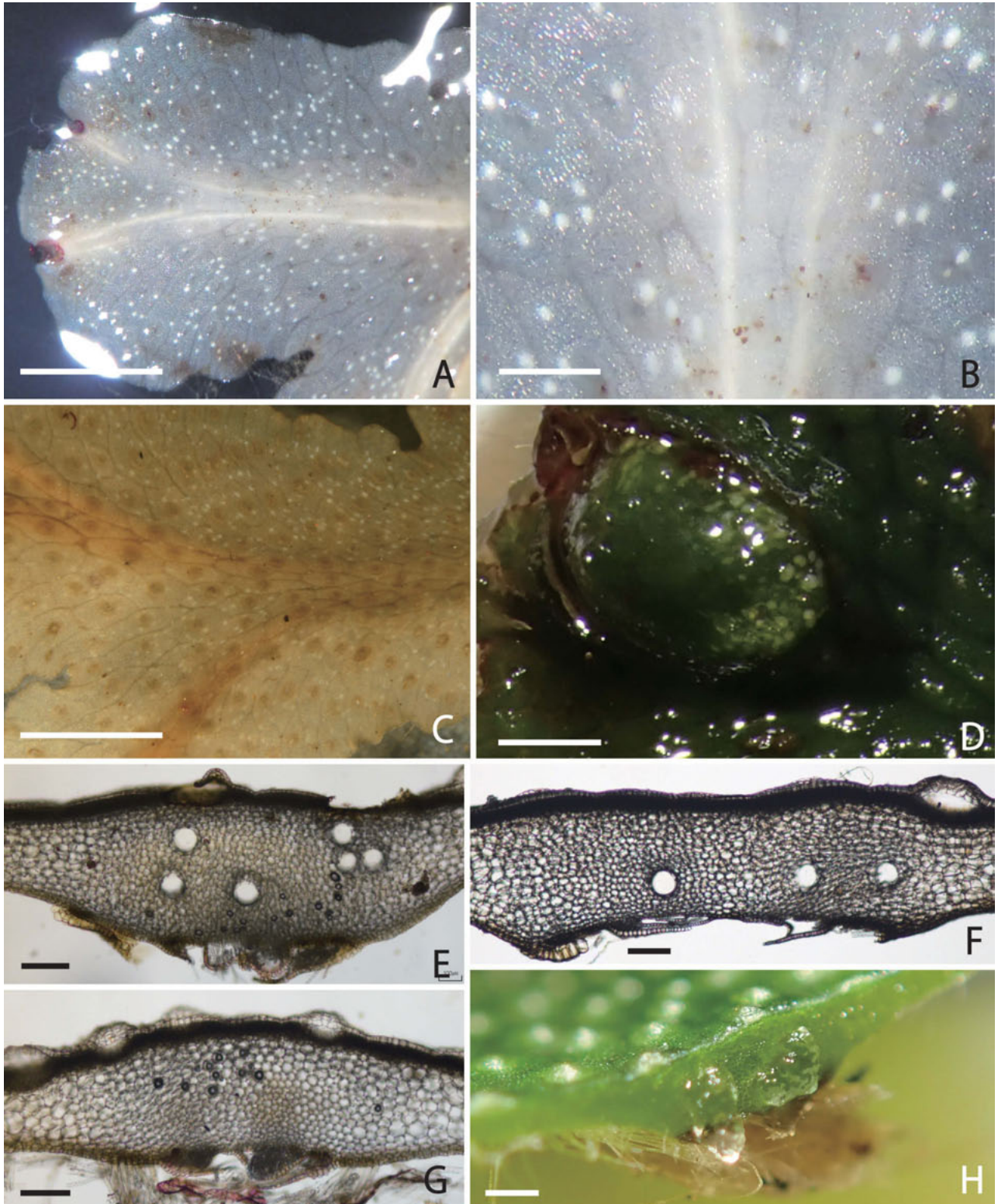


Plate 9. Mucilage canals and mucilage cells.

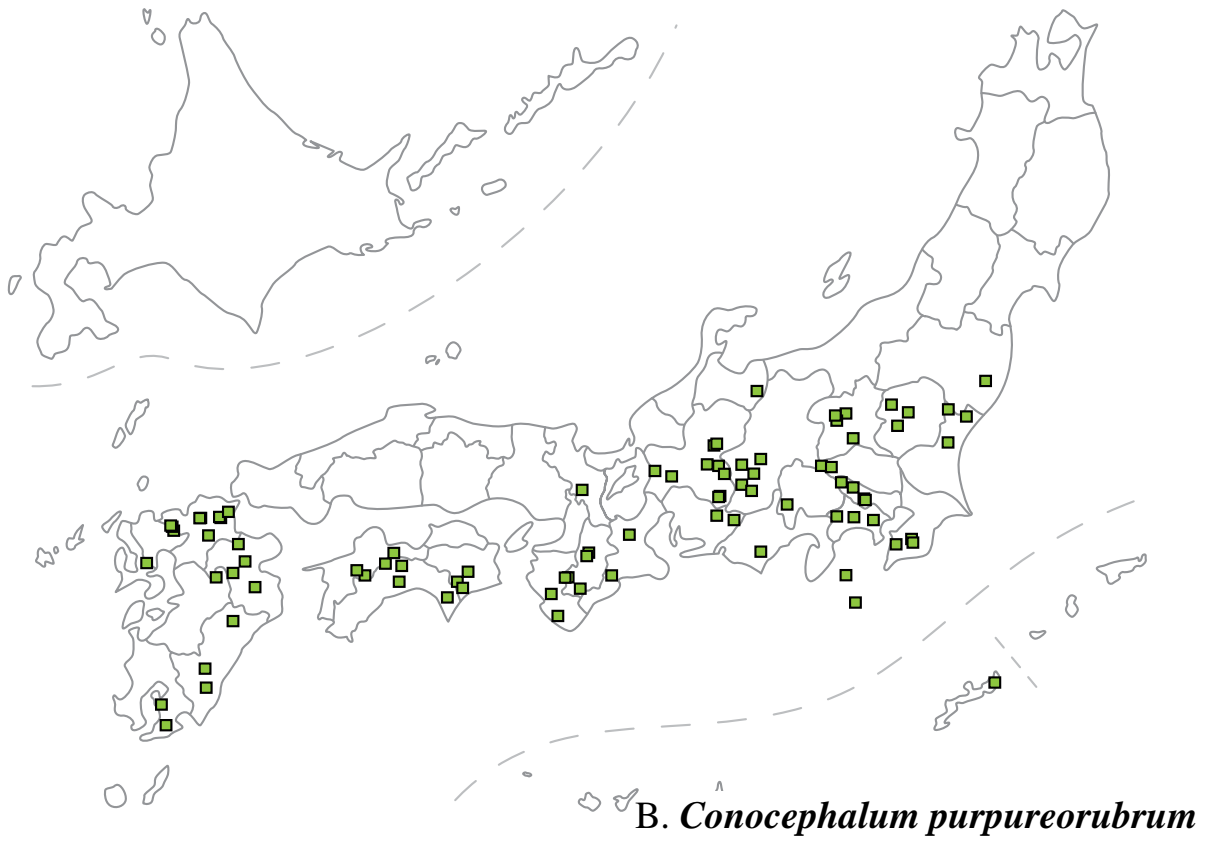
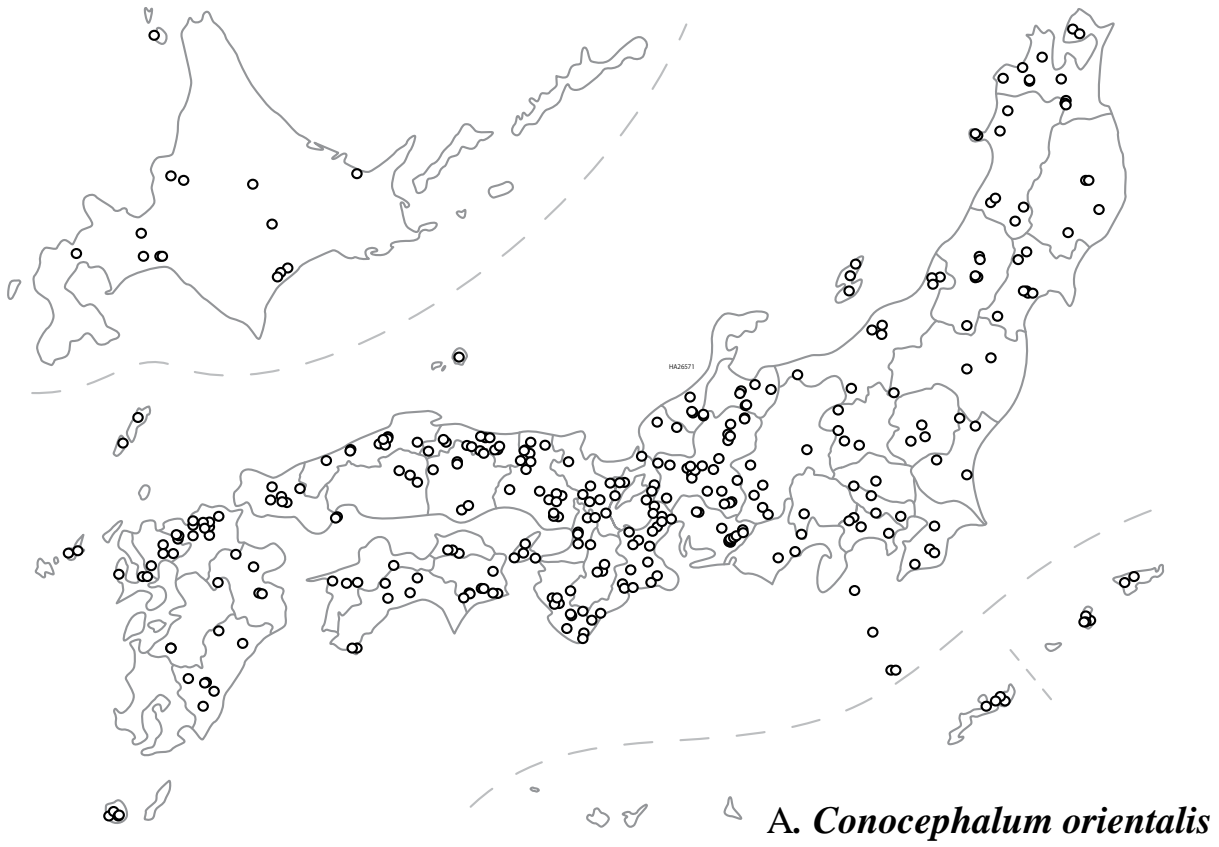


Plate 10. Distribution maps (1).

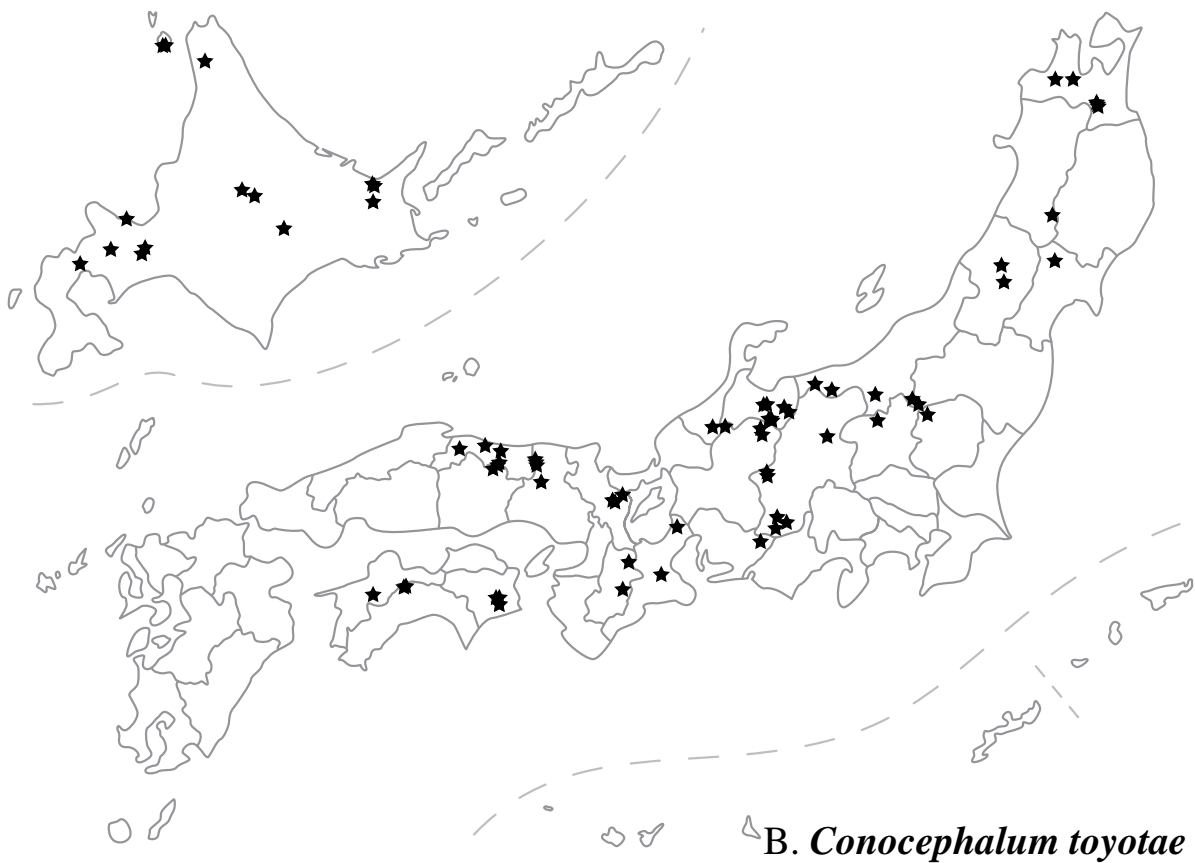
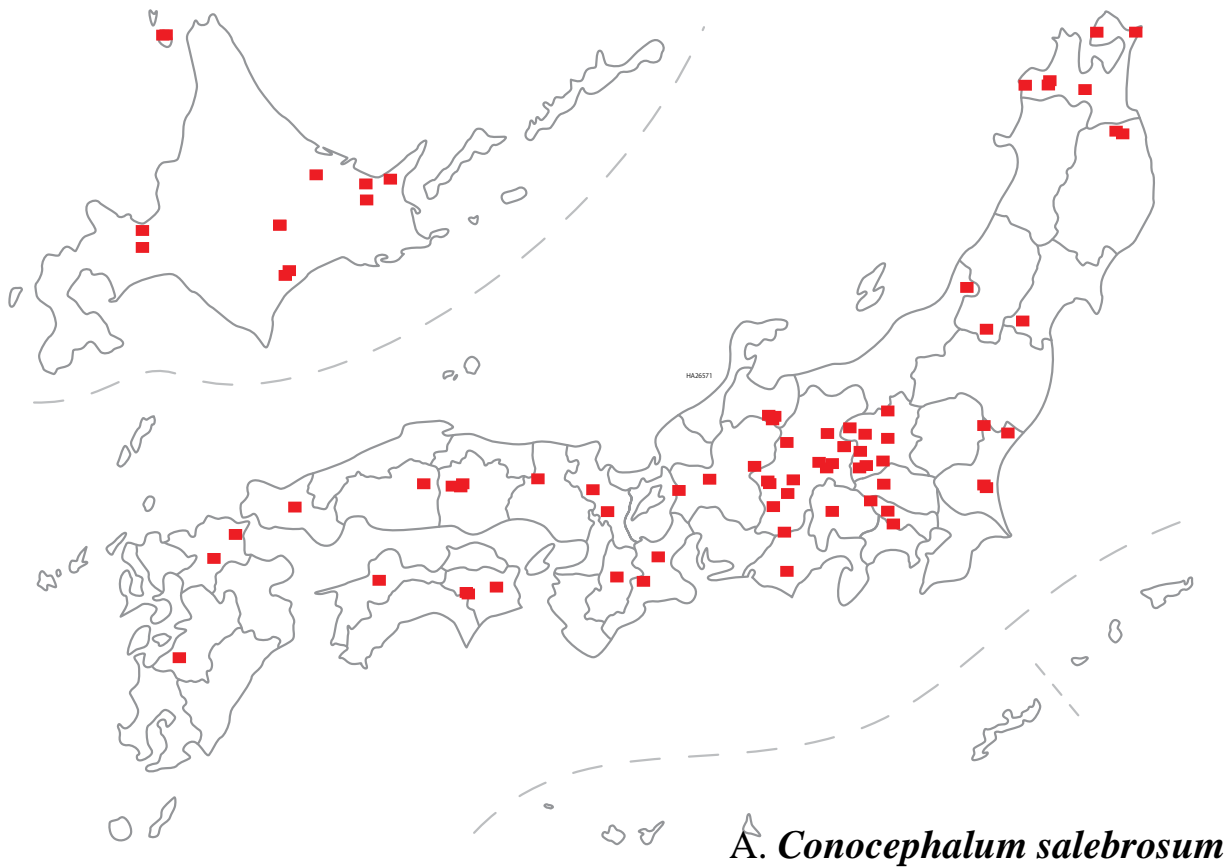


Plate 11. Distribution maps (2).

日本・台湾産ジャゴケ複合種における形態と生態の多様性

秋山 弘之¹⁾

形態の比較ならびに分子系統解析により、ジャゴケ属 *Conocephalum* とヒメジャゴケ属 *Sandea* は、それぞれ世界に 6 種と 3 種を持つ独立の属であることが示された (Akiyama and Odrzykoski 2020)。このうちジャゴケ属については日本には 4 種、台湾には 3 種が分布する。本論文ではこの成果ならびにジャゴケ探検隊のメンバーによって日本全国各地ならび台湾から得られた生植物を用いた形態と分布についての詳細な検討に基づき、これまで和名だけが与えられていた日本と台湾に分布するジャゴケ属植物 3 種のそれぞれを、オオジャゴケ *C. orientalis* H. Akiyama, ウラベニジャゴケ *C. purpureorubrum* H. Akiyama, そしてマツタケジャゴケ *C. toyotae* H. Akiyama を新種として記載した。また北半球冷温帯に広く分布するタカオジャゴケ *C. salebrosum* についても、日本・台湾産標本に基づいてヨーロッパ産植物との違いを比較検討して記載を与えた。

(2021 年 5 月 25 日受付, 2021 年 8 月 20 日受理, 2022 年 1 月 5 日発行)

¹⁾ 兵庫県立大学自然・環境科学研究所／兵庫県立人と自然の博物館自然・環境評価研究部 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘 6 丁目
akiyama@hitohaku.jp

兵庫県北部に分布するコナラ二次林とブナ二次林の 種組成と垂直分布

石田 弘明^{1)*}・武田 義明²⁾

Species composition and altitudinal distribution of *Quercus serrata* secondary forests and *Fagus crenata* secondary forests in northern Hyogo Prefecture, Japan

Hiroaki ISHIDA^{1)*} and Yoshiaki TAKEDA²⁾

Abstract

Changes in species composition of secondary summer-green forests along altitudinal gradient (40–500 m) were examined in northern Hyogo Prefecture, Japan. Thirty-five forest stands were investigated. The species composition of the stands was analyzed using the phytosociological tabulation method. The results showed that the stands were divided into two types (A and B). Major dominant trees of type A and type B were *Quercus serrata* and *Fagus crenata*, respectively. The first-axis score of the detrended correspondence analysis ordination for the stands was highly correlated with values of the warmth index (WI) and the coldness index (CI), suggesting that the differences in species composition between the two stand types were primarily caused by air temperature conditions. Type A stands tended to be replaced by type B stands at approximately 300 m in altitude. This altitude was similar to the altitude at which natural evergreen broad-leaved forests were replaced by natural summer-green forests. The values of WI and CI at an altitude of 300 m were estimated to be 95 °C · month and -10 °C · month, respectively.

Key words: altitudinal distribution, *Fagus crenata*, northern Hyogo Prefecture, *Quercus serrata*, secondary forest, species composition

(2021年6月8日受付, 2021年10月8日受理, 2022年1月5日発行)

¹⁾ 兵庫県立大学自然・環境科学研究所 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目
Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo; 6 Yayoigaoka, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan
併任: 兵庫県立人と自然の博物館自然・環境再生研究部 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目
Division of Ecological Restoration, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo; 6 Yayoigaoka, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan

* Corresponding author: ishida@hitohau.jp

²⁾ 株式会社里と水辺研究所 〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島4-11-32-602
Institute of Rural & Urban Ecology Co., Ltd.; 4-11-32-602 Higashinakajima, Higashiyodogawa-ku, Osaka, 533-0033 Japan

はじめに

本州の日本海側地域にはブナ科の夏緑広葉樹であるコナラ、ミズナラ、ブナの優占する二次林が広く分布している(大野, 1990; 星野, 1996; 紙谷, 1986)。コナラ二次林とミズナラ二次林を対象とした植生調査は日本海側地域を含む国内の多くの地域で実施されており、全国レベルでの分布や種組成、群落体系などが報告されている(大野, 1990; 星野, 1998; 鈴木, 2001, 2002; 辻, 2001)。しかし、ブナ二次林を対象とした植物社会学的研究やブナ二次林とコナラ二次林・ミズナラ二次林を詳しく比較した研究はほとんど実施されていない。このため、ブナ二次林の種組成や垂直分布などの特徴はよくわかっていないのが現状である。これらの特徴を明らかにすることは日本海側地域における夏緑二次林の群落分化の実態を把握したり、日本海側地域の正確な植生図を作成したりする上で重要な課題であると考えられる。

兵庫県北部(日本海側地域)に位置する三川山^{みかわやま}の北斜面とその山麓部にはまとまった面積を有するコナラ二次林・ブナ二次林が比較的多く分布している。しかし、これらの二次林の間で種組成と垂直分布を詳細に比較した研究はまだ実施されていない。そこで本研究では、当地域のコナラ二次林・ブナ二次林を対象とした植生調査を実施し、両二次林の種組成・垂直分布の相違を明らかにすることを目的とした。

調査地域の概要

調査は兵庫県美方郡香美町に位置する三川山の北斜面とその山麓部で行った(図1)。中国山地の東端に位置する三川山は氷ノ山後山那岐山国定公園に指定されている山岳の一つで、山頂の標高は887.8 mである。調査地域の地質は後期白亜紀の流紋岩、古第三紀の花崗岩、新第三紀の安山岩・火砕岩などから構成されている(産業技術総合研究所地質調査総合センターの「地質図Navi」, 付記を参照)。

調査地域は、多雪によって特徴づけられる裏日本気候区(鈴木, 1962)に属している。気象庁の「過去の気象データ」(1971年-1990年の平均値, 付記を参照)をもとに、調査地域の最寄りの気象観測所(豊岡, 標高3.4 m)の気候条件を調べたところ、年平均気温は13.9℃, 暖かさの指数(WI)は110.7℃・月, 寒さの指数(CI)は-4.4℃・月, 最寒月の月平均気温は2.8℃, 年降水量は1972.9 mm, 冬期降水量(12-2月)は599.7 mm, 最深積雪は65.9 cmであった。

調査地域に分布する森林群落の多くは二次林と人工林であるが(環境庁, 1982)、三川山には極相状態または

それに近い状態の照葉樹林(ウラジロガシ自然林)と夏緑樹林(ブナ自然林)がまとまった面積で残存している(中西・西本, 1981)。

方 法

植生調査

1991年6月から10月にかけて植物社会学的方法(Braun-Blanquet, 1964)に基づく植生調査を行った。調査地点は35地点で、その標高は40-500 mである。調査地点の地形はいずれも斜面で、傾斜角度は10-45度(平均値±標準偏差は33.1±8.7)である。

調査対象とした林分(以下、調査林分)は樹木の伐採や下刈り、落ち葉かきなどの利用・管理が放棄されている「樹高12 m以上、胸高直径50 cm以下のコナラ・ブナが林冠を構成する夏緑二次林」である。調査林分の林齢は不明であるが、1948年に米軍が撮影した航空写真を確認したところ、いずれの調査林分も1948年時点ですでに林冠が閉鎖していることがわかった。このことから、調査実施年(1991年)における調査林分の林齢は少なくとも43年以上であるといえる。

植生調査では、まず林分の階層を区分した。階層は高

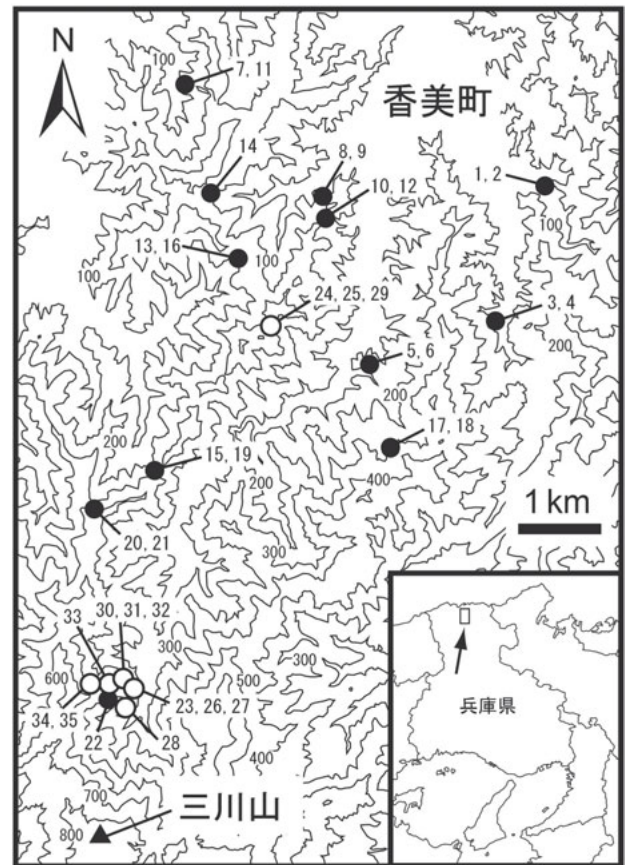


図1 調査地点図。●はタイプA, ○はタイプB, 1-35は表1の調査地点番号, 100-800は標高(m)。

木層（林冠）、第1低木層、第2低木層、草本層の4層、または垂高木層を含む5層とした。階層の区分は目視によって行い、葉群の分布を区分の目安とした。次に、階層ごとに全維管束植物の出現種のリストを作成し、各出現種の被度を記録した。被度はBraun-Blanquet (1964)の被度階級値(+, 1, 2, 3, 4, 5)とした。調査面積は種組成と地形の均一性に依りて100–400 m²とした。

なお、調査地域にはニホンジカが生息しているが、1991年時点ではニホンジカの姿や糞塊、ニホンジカの被食痕をもつ植物はまったくみられなかった。このため、本研究ではニホンジカの生息状況や採食状況などに関する調査は行わなかった。

データ解析

得られた植生調査データをもとに組成表を作成し、表操作法 (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974) による群落区分を行った。群落単位の識別種を抽出する際の判定基準については群落適合度 (佐々木, 1973; 宮脇ほか, 1994) の適合度級 V (または 5) を採用した。群落適合度は群落単位に対する植物種の偏在性の程度を評価するための指標であり、上述した V の判定基準に該当する種は独占種 (exclusive species; ある群落単位にほとんど完全に限定されている種) と呼ばれている (佐々木, 1973)。ただし、いずれの群落単位においても出現頻度が 20 % 以下の種は抽出の対象から除外した。

種組成による調査林分の序列化を行うために DCA (Hill and Gauch, 1980) を実施した。この解析では全調査林分での出現頻度が 5 % 以上の種を対象とし、量的データとして各出現種の被度階級値を使用した。被度階級値の+は 0.5 として取り扱った。複数の階層に出現した種については被度階級値の最大値を使用した。

調査地点の気温条件として WI と CI を算出した。これらの算出には調査地域の最寄りの気象観測所 (豊岡, 標高 3.4 m) で収集された気象観測データ (気象庁の「過去の気象データ」, 付記を参照) を使用した。具体的には、調査実施年の前年から 19 年前までの期間 (1971–1990 年) に収集された気象観測データの平均値と調査地点の標高データをもとに気温減率 0.6 °C / 100 m を用いて各調査地点の WI と CI を推定した。次に、種組成に対する気温条件の影響を明らかにするために、DCA によって得られたサンプルスコアと WI, CI の関係について Spearman の順位相関分析を行った。

種の和名および学名は米倉浩司・梶田 忠の「BG Plants 和名—学名インデックス YList」(付記を参照) に従った。DCA には PC-ORD 5 (MjM Software Design, Gleneden Beach) を使用した。

結 果

表操作の結果、調査林分は二つの群落単位、すなわちタイプ A とタイプ B に区分された (表 1)。群落単位の識別種はタイプ A がコナラ、ウリカエデ、キンキマメザクラ、シュンラン、カスミザクラなどで、タイプ B がオオバクロモジ、ハウチワカエデ、エゾユズリハ、キジノオシダなどであった。高木層の主な優占種はタイプ A がコナラで、タイプ B がブナであった (表 1)。このように、コナラ二次林とブナ二次林はそれぞれタイプ A とタイプ B にまとめられた。

DCA によって得られた 1 軸 および 2 軸 の eigenvalue はそれぞれ 0.311, 0.178 であった。これらの軸のサンプルスコアから構成される座標平面上に全調査林分を配置したところ、タイプ A とタイプ B は 1 軸上で離れて分布する傾向が認められた (図 2)。

DCA の 1 軸スコアと標高の関係を図 3 に示す。タイプ A とタイプ B の標高の範囲は部分的に重複していたが、タイプ B はタイプ A よりも高標高域に分布する傾向が認められた。タイプ A の分布上限の標高は 440 m で、タイプ B の分布下限の標高は 280 m であった (表 1)。これらの標高の気温を計算により推定したところ、標高 440 m の WI と CI はそれぞれ 88.4 °C・月、-13.5 °C・月で、標高 280 m の WI と CI はそれぞれ 96.1 °C・月、-9.7 °C・月であった。

DCA のサンプルスコアと WI, CI の関係について順位相関分析を行った。その結果、1 軸スコアと WI, CI の間には順位相関係数でそれぞれ 0.860 ($P < 0.001$), 0.862 ($P < 0.001$) という強い正の有意な相関が認められた。2 軸スコアと WI, CI の間にも正の有意な相関が認められたが、順位相関係数はそれぞれ 0.353 ($P < 0.05$), 0.351 ($P < 0.05$) と 1 軸スコアの順位相関係数よりも低かった。

考 察

タイプ A とタイプ B の群集同定

表操作と DCA による解析の結果、調査地域に分布するコナラ二次林とブナ二次林の種組成は明確に異なっており、それぞれが別の群落単位にまとめられることがわかった (表 1, 図 2)。植物社会学における植物群落の基本単位は群集と呼ばれており、これまでに多くの群集が報告されている (宮脇ほか, 1994)。ここでは、表 1 の結果をもとに、タイプ A とタイプ B が既報の群集のどれに該当するのかについて検討を行った。

既往研究では兵庫県北部に分布するコナラ二次林は複数の群集に同定されている。例えば、鈴木 (1984) はアベマキーコナラ群集に同定し、青木・服部 (1998)

表1 タイプAとタイプBの種組成。+5は被度階級値。

	タイプA										タイプB																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35			
調査地点番号	40	50	80	90	140	140	160	160	160	175	180	180	250	255	270	280	290	290	310	315	440	280	295	300	300	300	305	325	380	390	400	450	500	500				
標高 (m)																																						
方位																																						
傾斜角度	5	45	10	38	15	22	32	28	18	35	35	34	30	32	35	32	20	25	40	40	35	40	44	25	40	36	40	29	37	30	40	40	40	43	40	35		
面積 (m ²)	400	150	200	150	225	225	400	100	225	100	100	225	100	100	225	100	100	225	100	225	100	400	225	225	225	225	100	400	400	300	225	225	100	100				
高木層の高さ (m)	18	18	16	18	15	18	18	20	20	16	20	20	16	16	20	20	18	16	14	14	16	15	18	18	18	16	25	17	18	18	18	18	15	15	12			
高木層の植被率 (%)	90	90	60	90	60	80	70	50	80	90	95	80	75	50	80	70	90	90	90	60	90	90	95	95	95	70	90	90	90	60	90	80	85	70				
亜高木層の高さ (m)	10	12	10	10	12	8	13	10	11	12	12	10	11	14	10	10	9	8	9	8	9	8	8	12	9	9	9	9	9	10	10	8	8	8				
亜高木層の植被率 (%)	30	30	10	30	30	30	30	40	10	20	10	40	15	10	30	8	10	40	20	15	30	20	15	30	30	40	40	30	40	30	40	20	25	30				
第1低木層の高さ (m)	6	7	8	7	8	4	5	7	6	6	7	6	6	5	7	8	7	6	6	5	5	5	6	7	6	6	4	5	5	5	5	5	5	5				
第1低木層の植被率 (%)	30	25	30	75	40	60	40	15	40	30	50	70	40	25	5	40	30	50	35	40	20	25	10	30	20	20	20	13	10	80	10	40	30	35	30			
第2低木層の高さ (m)	2	2	2	2.5	2	2.5	2	2	1.7	2	2	3	2	2	2	2.5	2	2	2	2	1.7	2	2	2	2	2	2	2	1.8	2	3	2	2.5	2	1.5	2		
第2低木層の植被率 (%)	95	30	30	60	30	50	30	30	20	60	20	20	30	40	70	50	60	10	45	40	25	20	30	70	15	40	15	40	15	40	60	30	60	30	50			
草本層の高さ (m)	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.8	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5			
草本層の植被率 (%)	3	5	40	5	30	30	15	60	30	30	25	15	5	13	10	25	25	30	10	13	30	25	15	30	75	10	20	20	85	10	30	20	20	20	45			
出現種数	40	45	67	48	62	55	49	49	52	48	60	54	49	60	52	59	33	58	56	59	52	43	63	69	62	60	72	47	65	35	39	42	28	37	34			
タイプAの識別種																																						
<i>Quercus serrata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Acer crataegifolium</i>																																						
<i>Cornus incisus</i> var. <i>kinkiensis</i>																																						
<i>Cambidum goeringii</i>																																						
<i>Cornus leucileuca</i>																																						
<i>Parrya scandens</i>																																						
<i>Rhododendron kempferi</i>																																						
<i>Abelia spatulata</i>																																						
<i>Solidago virginica</i> subsp. <i>asiatica</i>																																						
<i>Pourthiaea villosa</i>																																						
<i>Castanea crenata</i>																																						
<i>Abelia serrata</i>																																						
<i>Viburnum grossum</i>																																						
<i>Viola violacea</i>																																						
<i>Lilium japonicum</i>																																						
<i>Ilex crenata</i>																																						
<i>Carex dielsensis</i>																																						
<i>Fraxinus crenata</i>																																						
タイプBの識別種																																						
<i>Lindera umbellata</i> var. <i>membranacea</i>																																						
<i>Acer japonicum</i>																																						
<i>Daphniphyllum macropodum</i> subsp. <i>humile</i>																																						
<i>Platogyria japonica</i>																																						
<i>Betula grossa</i>																																						
<i>Viola vaginata</i>																																						
<i>Styrax obassia</i>																																						
<i>Aesculus turbinata</i>																																						
<i>Dioscorea septemloba</i>																																						
<i>Viburnum furcatum</i>																																						
<i>Sasa kariensis</i>																																						
<i>Astilbe odoratophylla</i>																																						
<i>Toxicodendron orientale</i>																																						
<i>Fagus japonica</i>																																						
<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>pubescens</i>																																						
<i>Platogyria matsumurae</i>																																						

はコナラーオクチョウジザクラ群集に同定している。しかし、コナラ二次林であるタイプ A には、アベマキ・コナラ群集の標徴種（鈴木，2001）とされているアベマキ、ノグルミ、アラゲミツバツツジ（コバノミツバツツジの種内分類群）、ザイフリボク、ニシノホンモンジスゲ、ナラガシワや、オクチョウジザクラ・コナラ群集（コナラーオクチョウジザクラ群集と同義）の標徴種・区分種（鈴木，2002）とされているオクチョウジザクラ、ハナヒリノキ、ウラジロヨウラク、ウゴツクバネウツギ、ユキツバキ、エゾツリバナはほとんど、あるいは

まったく出現していない。また、鈴木（2002）の研究では、オクチョウジザクラ・コナラ群集は若狭湾から秋田県までの日本海側地域および北半島に分布するとされており、兵庫県北部での分布は確認されていない。これらのことから、タイプ A をこれらの群集に同定することは困難であると考えられる。

一方、辻（2001）は兵庫県北部に分布するコナラ二次林をコナラーユキグニミツバツツジ群集に同定している。辻（2001）によると、コナラーユキグニミツバツツジ群集の標徴種・識別種はキンキマメザクラ、ユキグニミツバツツジ、トキワイカリソウであるという。タイプ A にはこれらの種が高い頻度（77.3 % 以上）で出現しているほか、コナラーユキグニミツバツツジ群集を特徴づける種（辻，2001）とされているヒメアオキ、ハイイヌツゲ、アクシバ、チマキザサもよく出現している。これらのことから、タイプ A はコナラーユキグニミツバツツジ群集にまとめられると考えられる。

調査地域ではミズナラ二次林はほとんどみられないが、その周辺地域にはミズナラ二次林が広く分布している（鈴木，1984，2002；星野，1998）。このようなミズナラ二次林は鈴木（1984），星野（1998）によってそれぞれクリーミズナラ群集、ミズナラ・ムラサキマユミ群集に同定されている。一方、日本のミズナラ自然林・ミズナラ二次林の群落体系を再検討した鈴木（2002）はキンキマメザクラ・ミズナラ群集を新たに記載し、兵庫県北部のミズナラ二次林をすべてキンキマメザクラ・ミズナラ群集にまとめている。タイプ B はブナの優占林であるが、その高木層にはミズナラが混生しているため、タイプ B はキンキマメザクラ・ミズナラ群集として位置づけられる可能性がある。そこで、この点について検討するためにタイプ B とキンキマメザクラ・ミズナラ群集の種組成を比較したところ、タイプ B ではキンキマメザクラ・ミズナラ群集の標徴種（鈴木，2002）とされているキンキマメザクラ、キクバヤマボクチ、キクバドコロ、ムラサキマユミ、スギの出現頻度が 23.1 % 以下と低いことがわかった。この点とタイプ B の優占種がブナであることを考え合わせると、タイプ B をキンキマメザクラ・ミズナラ群集として位置づけることは難しいと考えられる。

中西・西本（1981）は三川山に分布するブナ自然林をブナーオオバクロモジ群集に同定している。この群集は Sasaki（1970）が初めて記載したものであるが、中村（1984）はブナーオオバクロモジ群集をヒメアオキ・ブナ群集の異名であるとし、三川山のブナ自然林をヒメアオキ・ブナ群集に同定している。中村（1990）によると、ヒメアオキ・ブナ群集の標徴種はヒメアオキ、ハイイヌガヤ、タチシオデ、アケボノシュスランであるという。タイプ B にはヒメアオキ、ハイイヌガヤ、タ

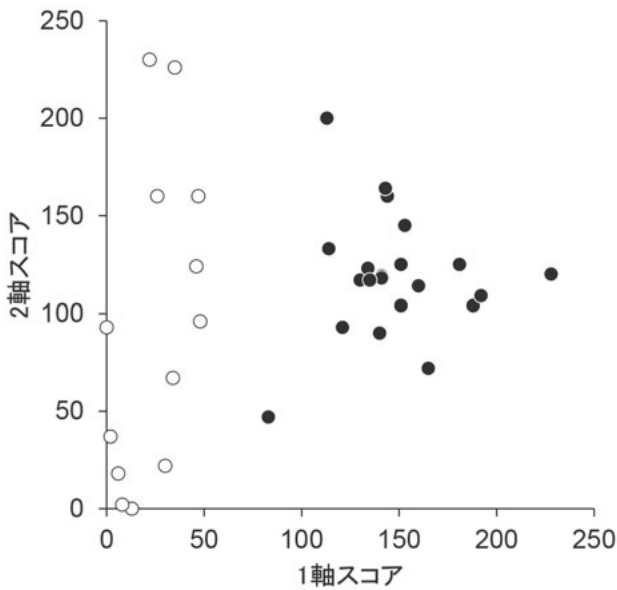


図2 DCA による調査林分の序列結果。●はタイプ A，○はタイプ B。

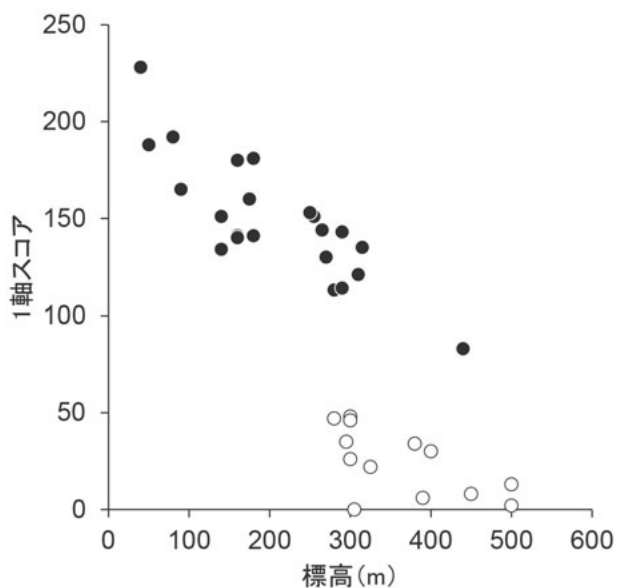


図3 DCA の 1 軸スコアと標高の関係。●はタイプ A，○はタイプ B。

チシオデが比較的高い頻度 (30.8–69.2 %) で出現しているほか、ヒメアオキ・ブナ群集の主要構成種 (中村, 1990) とされているハウチワカエデ、ナナカマド、コシアブラ、ヒメモチ、エゾユズリハ、オオカメノキ、オオバクロモジ、ウワミズザクラ、チシマザサ、イワガラミなどもよく出現している。これらのことは、タイプ B とヒメアオキ・ブナ群集が同類の群落単位であることを示している。ただし、日本のブナ自然林の群落体系を再検討した福嶋ほか (1995) はヒメアオキ・ブナ群集をブナ・クロモジ群集の異名であるとし、兵庫県北部のブナ自然林をすべてブナ・クロモジ群集に同定している。このことから、タイプ B は福嶋ほか (1995) が記載したブナ・クロモジ群集にまとめられると考えられる。

タイプ A とタイプ B の垂直分布

タイプ B はタイプ A よりも高標高域に分布する傾向が認められた (図 3)。また、DCA の 1 軸スコアと WI, CI の間にはそれぞれ強い正の有意な相関が認められた。これらのことから、コナラ二次林とブナ二次林の種組成の相違は気温条件の違いを大きく反映していると考えられる。

図 3 をみると、タイプ A とタイプ B の分布の境界をなす標高は 300 m 前後であることがわかる。中村 (1984) も「三川山周辺ではブナの再生能力がきわめて強く、日本海に直接面した積雪の多い北斜面のとくに海拔 300 m 付近からブナの一斉再生林をみることができる」と記述している。そこで、前述の気象観測データをもとに標高 300 m 地点の WI と CI を推定したところ、これらの値はそれぞれ約 95 °C・月、約 -10 °C・月であった。このことは、調査地域ではコナラ二次林・ブナ二次林の分布境界の気温値が WI 95 °C・月前後、CI -10 °C・月前後であることを示唆している。

前述したように三川山にはウラジロガシ自然林とブナ自然林が残存している。ブナ自然林はウラジロガシ自然林よりも高標高域に分布しているが、中西・西本 (1981) はこれらの自然林の垂直分布を詳細に比較し、両者の分布境界の標高が 330 m であることを報告している。この研究結果と本研究の結果を考え合わせると、調査地域ではウラジロガシ自然林・ブナ自然林の分布境界の気温値とコナラ二次林・ブナ二次林の分布境界の気温値はおおむね一致する傾向にあると考えられる。Hattori & Nakanishi (1985) は自然性の高い照葉樹林 (カシ型林) とブナ自然林の垂直分布に関する調査データを日本各地から収集し、本州の日本海側地域では両者の分布境界に相当する WI, CI がそれぞれ 97.0–98.6 °C・月、-10.5–-10.4 °C・月であると報告している。この研究結果も上述の考えを裏づけていると思われる。ただし、タイプ A は標高 440 m 地点にも分布していたので (表

1, 図 3)、タイプ A の垂直分布には気温条件以外の要因も関係しているといえる。例えば、タイプ A の優占種であるコナラは萌芽再生能力が比較的高いが (佐竹ほか, 1989; 中川, 2001; 横井, 2009)、タイプ B の優占種であるブナはその能力が比較的低いので (安田, 1985; 中静, 2009)、標高 300 m 以上の場所であっても伐採圧が非常に強い場合はコナラが優占する可能性がある。また、タイプ A のコナラ以外の構成種の垂直分布も伐採や下刈りといった人為攪乱の程度によって変化する可能性がある。タイプ A の垂直分布にはこのような人為攪乱が何らかの影響を与えていると推察されるが、この点の検証は今後の研究課題としたい。

ブナ自然林の垂直分布は寡雪地域と多雪地域の間で異なることがよく知られている。具体的には、ブナ自然林は寡雪地域では WI 85 °C・月以下の山地帯 (冷温帯) に分布するが、多雪地域では WI 85 °C・月以上の低地帯 (暖温帯) にも分布する (相沢, 1976; 中西・西本, 1983; Kure and Yoda, 1984; Hattori and Nakanishi, 1985)。調査地域のブナ自然林は後者の例の一つであり、その分布は山地帯から低地帯までの広範囲にわたることが明らかにされている (中西・西本, 1981)。上述したように調査地域のコナラ二次林・ブナ二次林の分布境界の標高はウラジロガシ自然林・ブナ自然林の分布境界の標高と類似していた。これらのことを考え合わせると、調査地域のブナ二次林の垂直分布はブナ自然林の垂直分布と同様に積雪の影響を強く受けられていると考えられる。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、神戸大学教育学部初等教育科の宮本良子氏には現地調査でご協力いただき、兵庫県立人と自然の博物館の田中美由紀氏にはデータ整理でご協力いただいた。両氏に厚く御礼申し上げます。

要 旨

兵庫県北部に位置する三川山の北斜面とその山麓部にはまとまった面積を有するコナラ二次林・ブナ二次林が数多く分布している。本研究では、当地域の 35 地点 (標高 40–500 m) においてコナラ二次林・ブナ二次林の植生調査を実施し、両二次林の種組成・垂直分布の相違を明らかにすることを目的とした。種組成の違いにより調査林分は二つの群落単位 (タイプ A, タイプ B) に区分された。高木層の主な優占種はタイプ A がコナラで、タイプ B がブナであった。これらのことから、調査地域に分布するコナラ二次林とブナ二次林の種組成は明確に異なることがわかった。DCA の 1 軸スコアと暖

かさの指数 (WI), 寒さの指数 (CI) の間にはそれぞれ強い正の有意な相関が認められた。このことから, コナラ二次林とブナ二次林の種組成の相違は気温条件の違いを大きく反映していると考えられた。コナラ二次林とブナ二次林の分布の境界をなす標高は 300 m 前後であることが示唆された。この標高は調査地域におけるウラジロガシ自然林・ブナ自然林の分布境界の標高と類似していた。標高 300 m 地点の WI と CI はそれぞれ約 95 °C・月, 約 -10 °C・月であると推定された。

文 献

- 相沢陽一 (1976) 新潟県の森林植生に関する二・三の問題。新潟県生物教育研究会誌, **11**, 44-49.
- 青木京子・服部 保 (1998) 兵庫県におけるアカマツ林とコナラ林の種組成の比較。人と自然, **9**, 73-78.
- Braun-Blanquet, J. (1964) Pflanzensozioologie, 3 Auflage. Springer, Wien, 866 p.
- Hattori, T. and Nakanishi, S. (1985) On the distributional limits of the lucidophyllous forest in the Japanese Archipelago. *Botanical Magazine, Tokyo*, **98**, 317-333.
- Hill, M. O. and Gauch, H. G. (1980) Detrended correspondence analysis, an improved ordination technique. *Vegetatio*, **42**, 47-58.
- 星野義延 (1996) 日本の雑木林の分類と分布。亀山 章 (編), 雑木林の植生管理。ソフトサイエンス社, 東京, pp. 25-39.
- 星野義延 (1998) 日本のミズナラ林の植物社会学的研究。東京農工大学農学部学術報告, **32**, 1-99.
- 福嶋 司・高砂裕之・松井哲哉・西尾孝佳・喜屋武豊・常富 豊 (1995) 日本のブナ林群落の植物社会学的新体系。日本生態学会誌, **45**, 79-98.
- 紙谷智彦 (1986) 豪雪地帯におけるブナ二次林の再生過程に関する研究 (II)。日本林学会誌, **68**, 127-134.
- 環境庁 (1982) 第3回自然環境保全基礎調査 (植生調査) 現存植生図 兵庫県 香住。環境庁, 東京。
- Kure, H. and Yoda, K. (1984) The effects of the Japan Sea climate on the abnormal distribution of Japanese beech forests. *Japanese Journal of Ecology*, **34**, 63-73.
- 宮脇 昭・奥田重俊・望月睦夫 (編) (1994) 改訂新版 日本植生便覧。至文堂, 東京, 910 p.
- Mueller-Dombois, D. and Ellenberg, H. (1974) Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley & Sons, New York, 547 p.
- 中川重年 (2001) コナラ。全国雑木林会議・中川重年・水野一男 (編), 現代 雑木林事典。百水社, 東京, pp. 88-89.
- 中村幸人 (1984) 山地夏緑広葉樹林。宮脇 昭 (編著), 日本植生誌 5 近畿。至文堂, 東京, pp. 307-327.
- 中村幸人 (1990) 山地夏緑広葉樹林。宮脇 昭・奥田重俊 (編著), 日本植物群落図説。至文堂, 東京, pp. 128-147.
- 中西 哲・西本 孝 (1981) 中国山地の森林帯—三川山のウラジロガシ林とブナ林の垂直分布を手がかりとして。ヒコピア別巻, **1**, 413-424.
- 中静 透 (2009) ブナ。日本樹木誌編集委員会 (編), 日本樹木誌 1。日本林業調査会, 東京, pp. 577-590.
- 大野啓一 (1990) 夏緑広葉樹二次林。宮脇 昭・奥田重俊 (編著), 日本植物群落図説。至文堂, 東京, pp. 616-635.
- Sasaki, Y. (1970) Versuch zur systematischen und geographischen Gliederung der japanischen Buchenwaldgesellschaften. *Vegetatio*, **20**, 214-249.
- 佐々木好之 (1973) 植物社会の研究。佐々木好之 (編), 生態学講座 4 植物社会学。共立出版, 東京, pp. 5-9.
- 佐竹義輔・原 寛・亘理俊次・冨成忠夫 (編) (1989) 日本の野生植物 木本 I。平凡社, 東京, 321 p.
- 鈴木秀夫 (1962) 日本の気候区分。地理学評論, **35**, 205-211.
- 鈴木伸一 (1984) 夏緑広葉樹二次林。宮脇 昭 (編著), 日本植生誌 5 近畿。至文堂, 東京, pp. 366-376.
- 鈴木伸一 (2001) 日本におけるコナラ林の群落体系。植生学会誌, **18**, 61-74.
- 鈴木伸一 (2002) コナラ林との比較におけるミズナラ林の植物社会学的研究。生態環境研究, **9**, 1-23.
- 辻 誠治 (2001) 日本のコナラ二次林の植生学的研究。東京植生研究会, 東京, 52 p.
- 安田喜憲 (1985) 東西二つのブナ林の自然史と文明。ブナ帯文化。思索社, 東京, pp. 29-63.
- 横井秀一 (2009) コナラ。日本樹木誌編集委員会 (編), 日本樹木誌 1。日本林業調査会, 東京, pp. 287-341.

付 記

- 産業技術総合研究所地質調査総合センター「地質図 Navi」(2020年10月参照)
[<https://gbank.gsj.jp/geonavi>]
- 気象庁「過去の気象データ」(2020年10月参照)
[<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>]
- 米倉浩司・梶田 忠「BG Plants 和名-学名インデックス YList」(2020年10月参照)
[<http://ylist.info>]

兵庫県南部沿岸域における中期更新世（MIS11）の 珪藻化石群集と地殻変動量の評価

福本 侑^{1)*}・佐藤裕司²⁾・加藤茂弘³⁾・兵頭政幸⁴⁾

Diatom fossil assemblages of the Middle Pleistocene (MIS11) deposits and evaluation of crustal movements in the coastal area of southern Hyogo Prefecture

Yu FUKUMOTO^{1)*}, Hiroshi SATO²⁾, Shigehiro KATOH³⁾
and Masayuki HYODO⁴⁾

Abstract

The coastal area of the southern part of Hyogo prefecture, central Japan, has been undergoing tectonic uplift, induced mainly by the Rokko-Awaji and the Osakawan fault systems. To investigate the activities of these fault systems, we estimated the degree of crustal movements by comparing the elevations of sea-level highstand obtained from diatom fossil assemblages. We analyzed marine sediment layers of Marine Isotope Stage (MIS) 11 from terrestrial section at Mt. Takatsukayama, west of Mt. Rokko, and borehole core samples from Ishiyagawa, south of Mt. Rokko. Data were compared with published diatom records of borehole cores from Maya and Higashinada, south of Mt. Rokko. Diatom flora of Takatsukayama section showed environmental changes of marine transgression, with a horizon of sea-level highstand that most probably corresponds with MIS11.3, which was observed in Maya and Higashinada cores as highest sea-level period during MIS11. Differences in the elevation of those highstands between Takatsukayama section, and Maya and Higashinada cores were 338.9 m and 318.0 m, respectively, reflecting the fault activities since MIS 11. Their displacement rate was calculated as approximately 0.8 m/kyr. Diatom flora of Ishiyagawa core had no clear signal of the highstand, but displacement of as much as 110 m and 90 m was estimated comparing with Maya and Higashinada cores, respectively.

Key words: crustal movement, diatom fossil, MIS11, Osaka Group, stratigraphic comparison

(2021年7月28日受付, 2021年10月8日受理, 2022年1月5日発行)

¹⁾ 島根大学エスチュアリー研究センター 〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060
Estuary Research Center, Shimane University; 1060 Nishikawatsu, Matsue, 690-8504 Japan

* Corresponding author: yfukumoto_diatom-paleolim@yahoo.co.jp

²⁾ 兵庫県立大学自然・環境科学研究所 〒669-1546 三田市弥生が丘 6
Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo; 6 Yayoigaoka, Sanda, 669-1546 Japan
併任：兵庫県立人と自然の博物館 自然・環境評価研究部 〒669-1546 三田市弥生が丘 6
Division of Natural History, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo; 6 Yayoigaoka, Sanda, 669-1546 Japan

³⁾ 兵庫県立人と自然の博物館 自然・環境評価研究部 〒669-1546 三田市弥生が丘 6
Division of Natural History, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo; 6 Yayoigaoka, Sanda, 669-1546 Japan

⁴⁾ 神戸大学・内海域環境教育研究センター 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1
Research Center for Inland Seas, Kobe University; 1-1 Rokkodai, Kobe, 657-8501, Japan

はじめに

大阪湾沿岸域では、中期更新世以降に逆断層を伴う断層ブロック運動が活発化し、現在も進行中の局地的な地殻変動（六甲変動）の影響下にある（藤田，1990）。六甲山地が現在も隆起を続ける一方で、その南東の大阪湾および大阪平野（以下、「大阪堆積盆地」という。）は沈降を続けており、両地域の間には六甲・淡路島断層帯や大阪湾断層帯を構成する多くの活断層が分布する（岡田，1996；加藤ほか，2008）。

大阪堆積盆地は、約350～330万年前（後期鮮新世）に形成され始めたと推定され（兵頭・Biswas，2002；加藤ほか，2008），盆地堆積物には第四紀後半における地球規模の周期的な気候変動（氷期－間氷期サイクル）に伴う海水準変動が記録されている。すなわち、約125万年前以降、間氷期の高海水準時には海進により盆地内に海成粘土層（Marine clayを略してMa層と呼ばれる。）が広く堆積した。それらは最下位のMa-1層から現在堆積中のMa13層までが知られ、挟在する火山灰の噴出年代や古地磁気層序などから、全球的な海洋酸素同位体ステージ（Marine oxygen Isotope Stage：MIS）との対比や堆積年代の推定がなされている（Biswas et al.，1999；吉川・三田村，1999）。

大阪堆積盆地に分布する海成粘土層は、露頭やボーリングコア試料の層序対比にあたって重要な鍵層となり、過去の海域などを推定する手掛かりになる。ボーリングコア試料に比べて、陸上において堆積時期を特定できる海成粘土層の露頭が見つかる機会は少ない。しかし、陸上の海成粘土層は過去の海水準とその後の隆起運動を示す貴重な証拠であり、他の露頭やコア試料からの同時代の層準を比較できれば、それらの地点間の相対的な地殻変動量を知ることができる（例えば、Sato et al.，2017；田中ほか，2019）。また、珪藻などの環境指標となる微化石を分析することで、均一に見える海成粘土層内でも沿岸環境や海水準高度の変遷を知ることができ、より詳しい層序の対比や最高海水準期の層準の認定ができる可能性がある（Maegakiuchi et al.，2016；Kariya et al.，2010）。

六甲山地の西麓、神戸市西区から垂水区にまたがる高塚山（標高186 m）周辺には、主に中期更新世の堆積物である大阪層群明美層中の高塚山部層が分布しており（髯本・前田，1989），その部層中の高塚山粘土層は、貝やサンゴ、海水生の珪藻など、海生生物の化石を多く含む（髯本・前田，1989；佐藤ほか，1997）。この海成粘土層は、挟在する高塚山火山灰層のフィッシュ・トラック（FT）年代および大阪層群中のテフラとの対比から、大阪層群のMa9層に対比され、MIS11の間氷期（約42～37万年前）の海進に伴って堆積したこと

が明らかになっている（加藤ほか，1999）。

本研究では、六甲変動による兵庫県南部沿岸域の地殻変動量に関する基礎データを得ることを目的として、高塚山粘土層について珪藻分析を行った。本粘土層については佐藤ほか（1997）が珪藻化石の分析を行い、海進に伴う淡水から海水環境への変遷を明らかにした。しかし、その調査露頭では水準測量は行われておらず、地殻変動に関する定量的な議論はなされていない。その後、加藤ほか（1999）の露頭において近傍の標高点をもとに水準測量が行われたことから、本研究ではこの露頭で採取された堆積物試料の珪藻分析を行い、MIS11の最大海進期に相当する層準とその標高を認定した。そして、神戸市南東部の大阪湾沿岸の2地点で採取されたボーリングコアの珪藻分析結果から認定されたMIS11の最大海進期層準（Kariya et al.，2010）の標高と比較することにより、各地点間の地殻変動量を評価した。また、神戸市灘区の石屋川沿いのボーリングコア試料（GS-K3）（関西地盤情報活用協議会，1998）で確認されたMa9層に対比される海成砂または砂質粘土層についても珪藻分析を行い、推定される堆積環境と地殻変動について考察を行った。

試料採取地点と地質概要

高塚山部層の露頭

今回試料を採取した露頭は、神戸市垂水区多聞町、若葉学園南に位置し、大阪層群明美層高塚山部層の模式地となっている（北緯34度40分、東経135度3分；図1a、現在は開発により消失）。明美層は、高塚山付近から西方の加古川左岸にかけて広がるいなみの台地を構成する扇状地性三角州の堆積物を主体としており、砂礫層中に挟在する高塚山粘土層のほか2層の海成粘土層を鍵層として、下位より朝霧部層・高塚山部層・岩岡部層に区分されている（髯本・前田，1989；加藤，2009）。高塚山部層は主に高塚山から西の伊川谷にかけて分布しており、その堆積面は最高位段丘面に相当する（加藤，2009）。露頭の数百m東方には南北走向の高塚山断層が位置する（図1a）。本断層を境に東側には古第三系神戸層群が分布していることなどから、高塚山断層は六甲山地の隆起をもたらした東上りの逆断層とされている（前田・髯本，1983；藤田・笠間，1983）。

模式露頭の高さは約14 m（標高109～123 m）で、高塚山粘土層はその下部（標高110.90～113.95 m）を占め、上方粗粒化して上部は砂質となる（図1b）。粘土層中の標高112.6～112.75 mに高塚山火山灰層が挟在する。本火山灰層は大阪層群Ma9層の最下部に挟在する港島Ⅱ火山灰層（宮川ほか，1996）に対比できることから、高塚山粘土層はMa9層に相当し、MIS11

の間氷期に堆積したと推定されている（加藤ほか，1999；Kotaki et al., 2011）．珪藻分析用の試料 28 点を，高塚山粘土層の最下部よりその直上のシルト層および細砂層上部にかけての層準（標高 110.9 ～ 118.2 m）から，10 ～ 50 cm 間隔で採取した（図 1b, 2）．

石屋川南ボーリングコア

石屋川南ボーリングコア（GS-K3：関西地盤情報活用協議会，1998）は，神戸市灘区の石屋川公園南（北緯 34 度 43 分，東経 135 度 14 分，標高 34.67 m）において平成 7 年に採取された全長約 680 m のコア試料である（図 1a,b；以下，「石屋川南コア」という．）．コア堆積物はシルトや礫を主体に構成され，13 層の海成の砂層やシルト層が挟在する．それらのうちコア深度 168.9 ～ 158.9 m（標高 -134.2 ～ -124.2 m）に分布する海成の細砂あるいは砂質粘土層は，その下位の深度約 180 m に挟在する K3-180 火山灰層が港島 I 火山灰層（宮川ほか，1996）に対比できることから，Ma9 層に相当するとされている（Kobayashi et al., 2002）．この海成層中の深度 168.8 ～ 159.2 m（標高 -134.1 ～ -124.5 m）間から，15 ～ 50 cm 間隔で 26 点の珪藻分析用試料を採取した（図 1b, 3）．このうち深度 164.0 ～ 162.0 m（標高 -129.4 ～ -127.4 m）間はコア試料が欠損していたため，分析用試料を採取できなかった．

分析手法

乾燥重量 2 g の試料を試験管に計りとり，15 % 過酸化水素水を加え，70 °C で 3 時間湯煎した．遠心分離機により上澄みを除去した後，蒸留水で希釈した試料をカバーガラス上に定量滴下し，室温で乾燥後，マウントメディア（富士フィルム和光純薬）で顕微鏡用スライドガラスに封入した．これを光学顕微鏡の 1000 倍（油浸下）で珪藻殻の同定，計数を行った．高塚山部層の試料については最低 200 殻を同定，計数した．石屋川南コアの試料については珪藻殻の含有量が少なく，200 殻の計数が困難だったため，最低 100 殻まで計数できた試料をデータとして用いた．珪藻種の同定は Krammer and Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, b), 渡辺 (2005), 小林ほか (2006), Round et al. (1990) に従った．出現した珪藻種は，Hartley et al. (1996) に従い海水生種，汽水生種，淡水生種に区分した．種名の表記は淡水生種に関しては渡辺 (2005)，それ以外は Hartley et al. (1996) に従った．主な出現種と，区分した海水 / 汽水 / 淡水生種の全体の出現数に対する割合を算出し，ダイアグラムを作成した．また各種の詳しい環境指標については千葉・澤井 (2014) を参照した．

結 果

高塚山粘土層

出現した主な珪藻種のダイアグラムを図 2 に示す．粘土層の下半部（標高 110.9 ～ 112.5 m）は淡水生種の割合が 90 % 近くに達し，*Staurosira construens* や *Staurosirella pinnata* などの無縦溝亜目が多く産出した．また最下部の標高 110.9 m では *Pinnularia* 属が約 8 % 産出した．汽水生種の産出は比較的少なかったが，*Opephora olsenii* が上位に向かって増加し，高塚山火山灰層準において 10 % 近くに達した．火山灰層では淡水浮遊性種の *Stephanodiscus minutulus* の増加が特徴的に見られた．火山灰層より上位では *Cyclotella striata/stylorum* などの海水生種が増加し，標高 113.1 m よりも上位では連続して 60 % 以上を占めるようになり，標高 114.5 m まで多く産出した．そして標高 113.5 m の層準において，海水生種の割合と，海水生でかつ浮遊性の種の割合がともに最大（それぞれ 76 %，52 %）となった．この層準では *Thalassiosira* 属や *Thalassionema nitzschioides* も特徴的に多産し，ともに 10 % 以上を占めた．それより上位では *Grammatophora oceanica* が増加し 10 % に達した．粘土層の上限（標高 113.95 m）よりも上位のシルト層では，珪藻殻の産出が急速に乏しくなったが，おおよそ海水生種が優占した．

石屋川南コアにおける Ma9 相当層

出現した主な珪藻種のダイアグラムを図 3 に示す．石屋川南コアでは珪藻殻の溶解，破損が顕著で，完個体はほとんど産出しなかった．分析を行った海成層のうちおおよそ上半分では比較的珪藻殻が保存されており，試料欠損部をはさんで下位（標高 -130.2 ～ -129.4 m）と上位（-127.4 ～ -126.2 m）の試料で 100 殻以上を計数することができた．淡水や汽水生の種の割合は全ての層準で 20 % 以下であり，*Cyclotella striata* や *Nitzschia cocconeiformis* を中心とする海水生種が連続して 80 % 以上出現した．また欠損部よりも上位では下位よりも *Auliscus sculptus* と *Dimeregramma minor* が特徴的に多く産出した．データ数が少ないこともあり，当試料では明瞭な海水生種のピークは見出されなかった．

考 察

高塚山粘土層と石屋川南コアにおける MIS11 期の古環境変遷

高塚山粘土層の珪藻化石群集の変遷はおおよそ，MIS11 期の海進に伴う淡水から海水環境への堆積環境

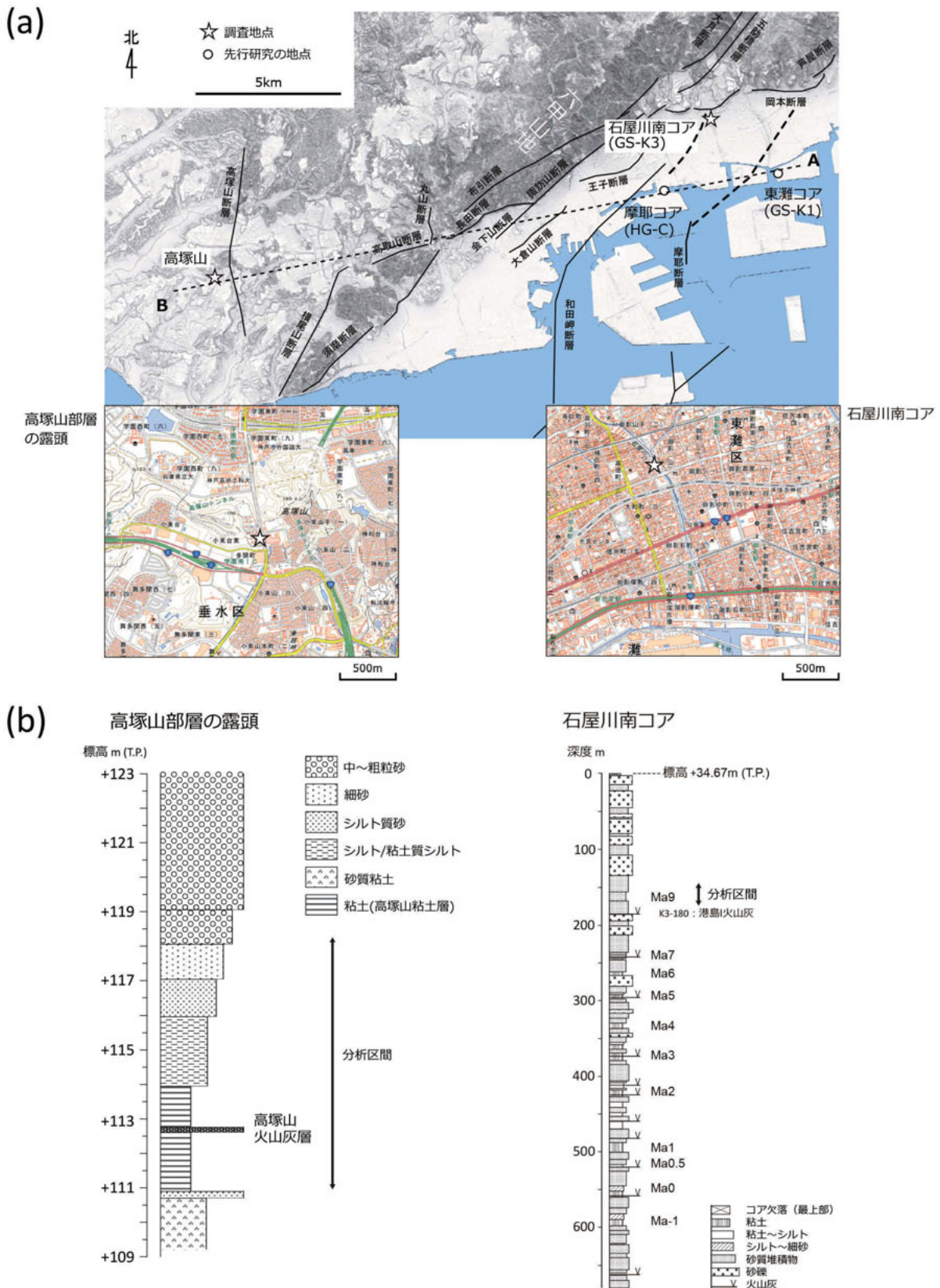


図1 (a) 高塚山の露頭試料と石屋川南 (GS-K3) コア試料の採取地点 (星印)。上図は国土地理院発行の基盤地図情報 (数値標高モデル 10 m メッシュ) を「カシミール3D」を使って加工して作成した。下図は国土地理院の電子地形図 (タイル) (ズームレベル 16) を引用した。本研究結果との比較を行う摩耶 (MY) コア, 東灘 (GS-K1) コア試料の地点を白抜きで示した。六甲山域の主な断層の分布 (実線) を神戸市・建設工学研究所 (1999), 前田・菅本 (1983) を基に, コア地点周辺の伏在断層 (破線) を苫瓜 (2009), 宮田・横道 (1999) において地図上に明示されているものを示した。高塚山と摩耶, 東灘コアとを結ぶ破線 (A-B) は図4aに示す地形断面図の測線を表す。
 (b) 高塚山における露頭試料と石屋川南コア試料の層相。コア試料の層相の記述は Kobayashi et al. (2002) による。

の移り変わりを表していると考えられる。まず粘土層の最下部では、淡水泥炭環境を示す *Pinnularia* 属 (千葉・澤井, 2014) が多く見られ、浮遊性の *Aulacoseira* 属の割合は少ないことから、水深の浅い淀んだ環境だったと考えられる。その後 *Staurosira construens* や *Staurosirella pinnata* が優占するようになるが、これらは様々な水深、水質の淡水環境に生育する普遍種 (Bennion et al., 2010; 渡辺, 2005) であり、環境の指標になりにくいとされている (Sonneman et al., 2000)。そのため当時の堆積環境は不明であるが、上位に向かってこれらが減少する代わりに汽水生種の *Opephora olsenii* が増加していったため、海水の影響が徐々に大きくなったと考えられる。そして火山灰層より上位の標高 113.1 ~ 114.5 m では、海水生種の *Cyclotella striata/stylorum* が連続して多産したが、*Cyclotella striata* が内湾指標種 (千葉・澤井, 2014) であることから、当時は内湾環境であったと考えられる。その中で標高 113.5 m に見られた海水浮遊性種の割合のピークについては、海進が最大となった層準と解釈できる。この層準で特徴的に見られた *Thalassionema nitzschioides* や *Thalassiosira* 属の多くの種は外洋の指標種 (千葉・澤井, 2014) であるため、外洋からの海水の流入がより大きくなったと考えられる。粘土層よ

りも上位のシルト層でも、引き続き海水生種が産出したため、海水の影響があったと考えられるが、化石殻の保存が悪くなり堆積物が粗粒になったことは、堆積に伴う浅海化を表すと考えられる。

上記の珪藻群集の変遷と推定される環境変化、すなわち高塚山火山灰層をおよその境として淡水環境から内湾環境へ移行し、その後浅海化していく傾向は、高塚山における先行研究の環境推定にも見られ、特に近傍の露頭について珪藻分析を行った佐藤ほか (1997) の結果とはおおそ類似していた。しかし、本研究で出現した淡水生種は *Staurosira* 属が圧倒的に多かった一方、佐藤ほか (1997) では淡水生種が優占する層準のうち下部では *Eunotia* 属など複数の分類群が出現し、上部では *Fragilaria construens* (= *Staurosira construens*) や淡水浮遊性の *Aulacoseira* 属が優占した。これは局所的な水環境の違いを表していると考えられる。高塚山火山灰層よりも上位において内湾環境が広がったことは、内湾から遠洋にかけて多く生育する円石藻 (*Gephyrocapsa oceanica*) の化石 (加藤ほか, 2000) や、汽水域や水深の浅い内湾に生息する貝形虫や有孔虫の化石 (Irizuki et al., 2005; 腎本・前田, 1989) の産出が報告されていることから支持される。また、標高 113.5 m で海進が最大になったと推定され

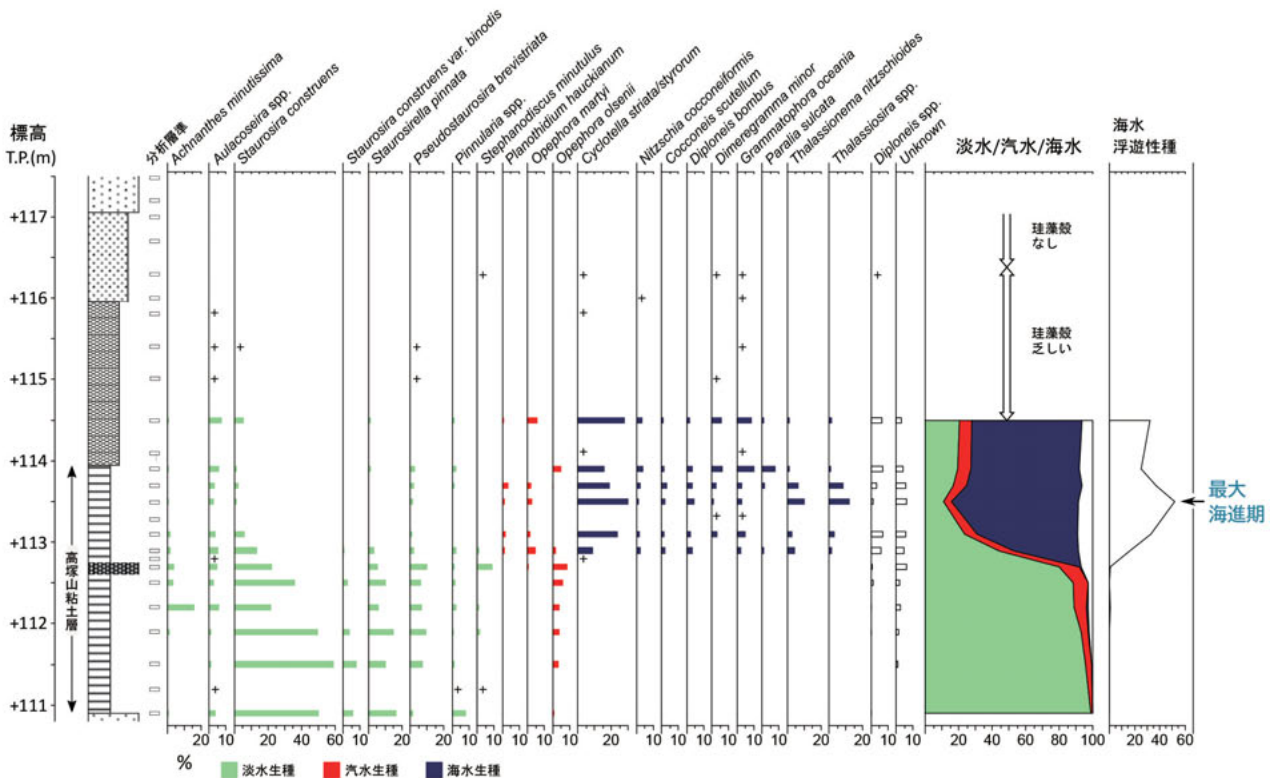


図2 高塚山の露頭試料の珪藻化石ダイアグラム。珪藻殻の計数が200殻に満たなかった試料について、優占して産出した種を+記号を付した。分析を行った28試料のうち、ここに示した25試料以外の3試料はダイアグラムの上限(標高116.5 m)よりも上位であるが、いずれも珪藻殻は産出しなかった。

たが、佐藤ほか（1997）の結果においても火山灰層の上位で *Thalassiosira* 属が一時的に 20 % 近くまで増加する層準が認められ、同様の海進の最大期を示していると考えられる。さらに粘土層の上位では、佐藤ほか（1997）の化学分析により、海底の還元から酸化環境への変化、つまり浅海化が示されている。以上のように今研究結果はおおよそ先行研究の結果を支持し、MIS11 期における海進に加えて海退を含む 1 サイクルの堆積過程が、高塚山粘土層に記録されている可能性がある。

石屋川南コアの Ma9 相当層（MIS11 期）の珪藻化石群集は、*Cyclotella striata/stylorum* が高塚山粘土層よりもさらに優占することから、同様の内湾環境であったと考えられる。ただし、すべての層準で珪藻殻の溶解や破損が激しいため珪藻群集が選択的に保存されていると考えられ、殻の分厚い *Paralia sulcata* が高塚山粘土層よりも全体的に多産したことも、これが原因である可能性もある。また、試料欠損部よりも上位で砂質干潟の指標種（千葉・澤井，2014）である *Dimeregramma minor* がわずかに増えたのは、砂の堆積による浅海化を示す可能性がある。

兵庫県南部・大阪湾沿岸域における MIS11 期以降の地殻変動量と変位速度の推定

MIS11 の海面上昇に伴う、淡水から海水の内湾環境への古環境変遷を示す堆積物が標高 110 ~ 120 m の高塚山の露頭で見られたことは、六甲山最高峰のある六甲山地東部だけでなく、六甲山地西部や東播磨地方にかけても中期更新世以降、隆起を続けていること（髯本・前田，1989）を支持する。現在みられる海成層の標高をもとに、六甲変動による土地の隆起、沈降量を具体的に求めた研究例は限られる。ただ珪藻分析からは、限られた環境の指標種、例えば満潮時に海面に浸るような干潟のみに生育する *Pseudopodosira kosugii* の産出手掛かりとして、当時の海水準のデータなどをもとに海水面からの正確な変動量が求められている（Sato et al., 1996；佐藤，2014）。本研究結果ではこのような指標種の出現はなかったため、海水面からの変動量の見積もりは難しいが、最大海進期の層準を特定することができた。海進がピークに達した期間は地質学的には短時間と考えられる（ただし MIS11.3 の温暖期は 1 万年以上の比較的長期間続いたとされる（Oba and Banakar, 2007））。そのため他の地点からも同様の層準が見つかる

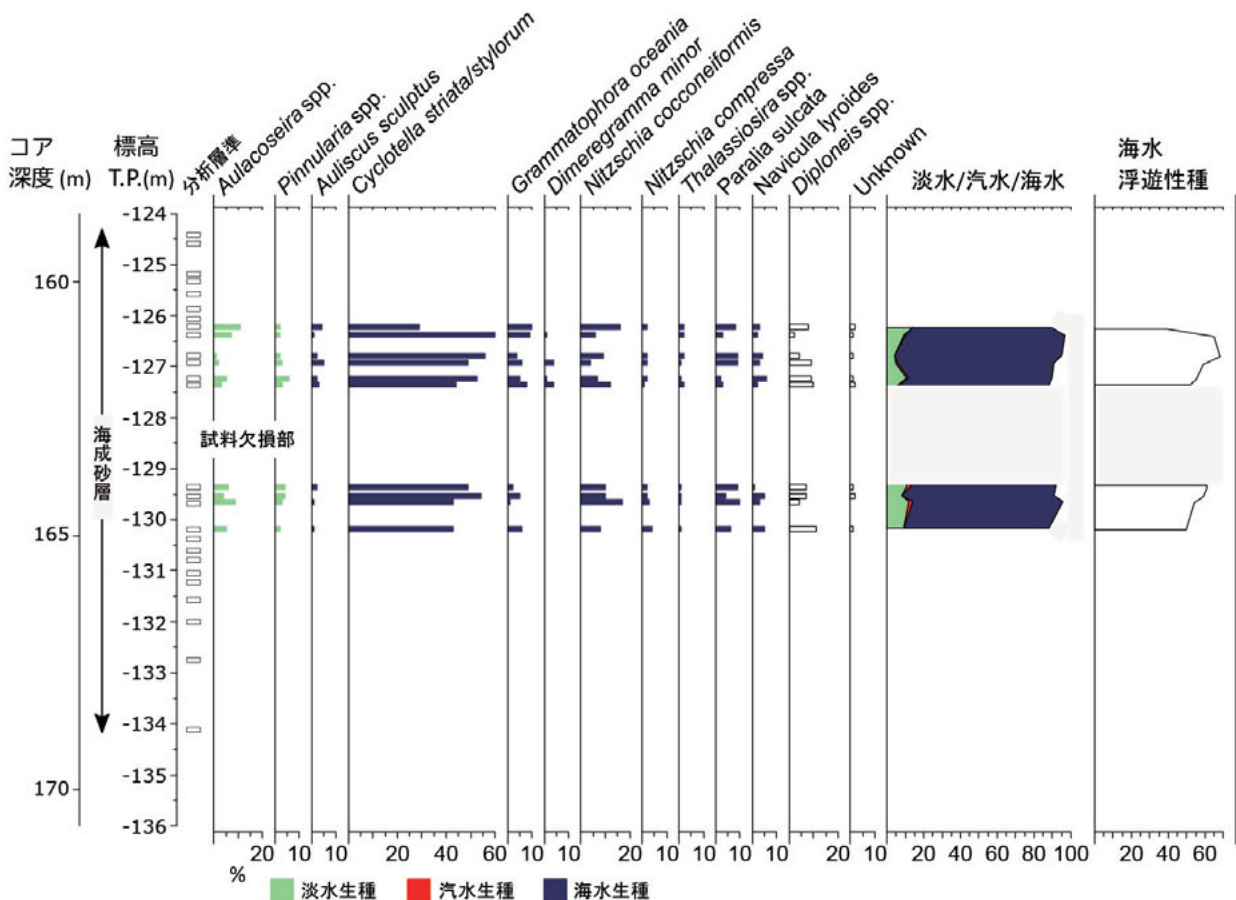


図 3 石屋川南コアの珪藻化石ダイアグラム。

れば、それらはほぼ同時期面とみなすことができる。さらに産出する珪藻群集も類似していれば、当時の堆積面の標高もおおよそ同じと考えられる。従ってそれらの現在の標高差は、堆積当時から相対的な地殻変動量を表すと考えられる。そこで今節では、高塚山の試料と、神戸市南東部の大阪湾沿岸部から得られたコア試料の珪藻群集に見られた最大海進期の層準について、標高の比較を行う。

兵庫県南部の大阪湾沿岸では1995年の兵庫県南部地震以降、大阪層群の海成粘土層を含む数多くのボーリングコアが採取されている(三田村ほか, 2000)。そのうち、神戸市灘区摩耶埠頭で採取された摩耶コア(MYコア; 全長583 m)(兵庫県立人と自然の博物館, 1997)と、神戸市東灘区魚崎浜で掘削された東灘コア(GS-K1コア; 全長1,700 m)(関西地盤情報活用協議会, 1998)については、Kariya et al. (2010)により本研究と同じMa9層の珪藻分析が行われている。摩耶および東灘のコア採取地点と、高塚山粘土層の珪藻分析地点(以下、「高塚山地点」という)との直線距離は、六甲山地を挟んでそれぞれ約15 kmと約20 kmである(図1a)。Kariya et al. (2010)によると、両コアともにMa9層中に海水浮遊性種の産出頻度のピーク、つまり最大海進期が認められており、これらの層準の標高は摩耶コアで標高-225.4 m、東灘コアで標高-204.5 mであった(図4a)。この層準は、Bassinot et al. (1994)やLisiecki and Raymo (2005)の酸素同位体比カーブとの比較により、MIS11で最も温暖であったMIS11.3に相当するとされている(Kariya et al., 2010)。この年代については、天文層序学的年代として406 ka(Bassinot et al., 1994)もしくは405ka(Lisiecki and Raymo, 2005)が得られている。またその上位に、同じく海進を示す小さなピークが2回認められており、MIS11.23とMIS 11.1の温暖期に対比されている(図4a)。MIS11.23とMIS 11.1の年代は、それぞれ384 kaおよび369 Kaとされている(Bassinot et al., 1994)。

高塚山地点でみられた標高113.5 mにおける海水浮遊性種の産出頻度の最大ピークは、摩耶および東灘コアにおける3つの産出頻度のピークのいずれかに相当すると考えられる。ただ、高塚山地点の最大ピークは、淡水生種に代わって海水生種が現れはじめてから最初のピークにあたり、この部位周辺の層相には生痕化石は認められるものの、目立った時間間隙の痕跡はみられなかった(加藤ほか, 1999)。そのためこれは、摩耶および東灘コアにおいて最初に現れ、かつ最大であるMIS11.3のピークに相当する可能性が高い(図4a)。この場合、高塚山地点と摩耶および東灘コア地点のMIS11.3どうしの標高差は、高塚山地点と摩耶コア地点との間で

338.9 m、高塚山地点と東灘コア地点との間で318.0 mとなった(図4b)。

これらの標高差は、MIS11期以降の六甲変動による相対的な地殻変動量を表すと考えられる。また、高塚山地点の産出ピークがMIS11.3(約41万年前)に相当する場合は、千年あたりの平均上下変位速度(以下、「変位速度」という)を求めると、高塚山地点と摩耶および東灘コア地点間でともに約0.8 m/年と算出される。ただし、これらの値には複数の誤差の要因が考えられ、例えば各地点間で堆積当時の標高が異なっていた可能性がある。この誤差については、各地点における堆積当時の水深が推定できれば、解消することができる。高塚山地点については、最大海進期の水深は約15 mであったと貝形虫の化石から推定されている(Irizuki et al., 2005)。しかし、摩耶および東灘コア採取地点では、この層準における珪藻化石の海水浮遊性種の割合が高塚山地点より高いという特徴(高塚山は約50%; 摩耶と東灘コアは約80%)があるため、水深は15 m以上であった可能性があるものの、具体的な水深は不明である。そして、もう一つの誤差の要因として、各地点の圧密の効果が考えられ、湿潤密度や間隙比などに応じて実際には堆積後に圧密による沈下が起こっているとされる(須貝・杉山1999)。以上の要因のため、今回求められた標高差および変位速度は、各地点の当時の水深はおおよそ同じであると仮定し、圧密の効果も、地点間の比較により相殺されていると仮定した場合の値を示していると言える。また、圧密の効果は露頭試料よりもコア試料の方が大きいと考えられるため、求められた変位速度の値は、実際よりも若干大きい可能性も考えられる。

石屋川南コアの分析結果(図3)では海水浮遊性種の産出ピークが見られなかったため、MIS11.3などに相当する層準は認定できなかったが、摩耶および東灘コアの海成層準との間のおおまかな標高差は求めることができる。摩耶および東灘コアでは、Kariya et al. (2010)によりMa9層のほぼ全層準で海水生種の産出が報告されており、その標高範囲は摩耶コアで標高約-231.9 ~ -207.3 m、東灘コアで標高約-211.6 ~ -186.2 mである(図4a)。一方、石屋川南コアの海水生種が産出した層準は標高約-130.2 ~ -126.2 mである(図3)。そのため、先の二つのコア試料との間にはそれぞれ77 ~ 106 m, 56 ~ 85 mの標高差が算出され、これらの差違もMIS11以降の六甲変動を反映すると考えられる。

兵庫県南部・大阪湾沿岸域におけるMIS11期以降の断層運動

高塚山地点と摩耶や東灘のコア採取地点との間には、六甲山地の山体をはさみ、六甲・淡路島断層帯や大阪

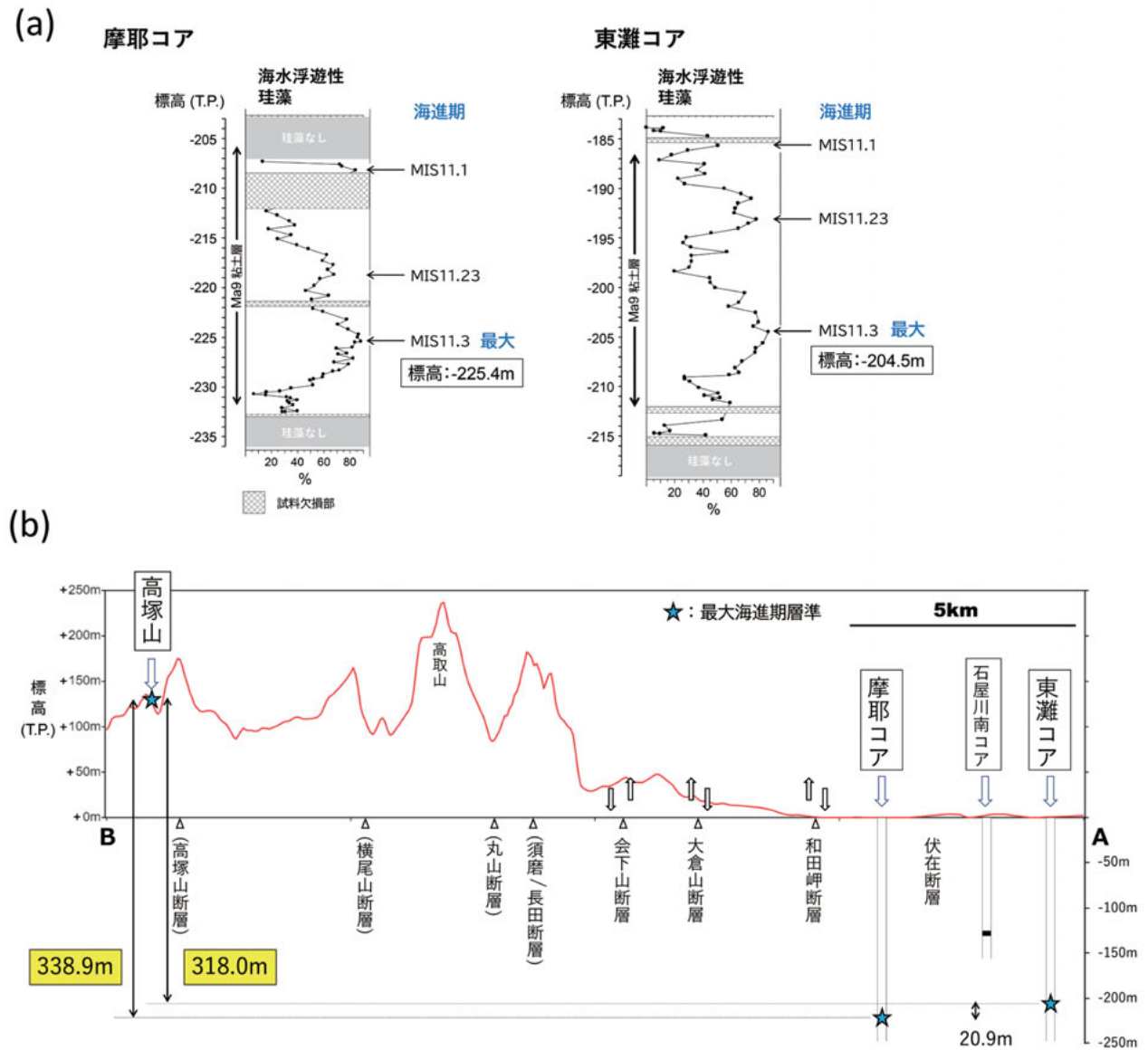


図4 (a)摩耶コア, 東灘コアのMa9粘土層を中心に行われた珪藻分析による海水浮遊性種の割合のダイアグラム(Kariya et al.(2010)のデータに基づく)。割合がピークとなる海進期層準と推定されるMISの番号を矢印で示した。
 (b) 図1のAB測線上の地形断面図と, その間を走る主な断層。括弧つきで記した断層はおよそMa9堆積以降の活動履歴は報告されておらず(神戸市, 1998; 岡田・東郷, 2000), それ以外の断層についておよその隆起, 沈降側を矢印で付した(神戸市・建設工学研究所, 1999)。高塚山の露頭試料, 摩耶コア, 東灘コアそれぞれのMIS11.3相当と推定される最大海進期の層準を星印で示した。石屋川南コアについてはMa9層準のうち海生種が産出した部位を黒の網掛けで示した。地形断面図は, 地理院タイル(標高タイル)を「Web地形断面図メーカー」サイトにて加工して作成した。

湾断層帯に属する多くの断層が走っている(図1a, 図4b)。前節で算出した各地点間の標高差やその変位速度は, これらのうち中期更新世以降も活動的な活断層の運動の総合的な結果と考えられる。六甲山周辺を走る断層の変動履歴については, 地形・地質調査, 反射法地震探査などの物理探査, および深層・浅層ボーリング調査により多くの報告がなされている(兵庫県, 1996; 神戸市, 1998; 岡田・東郷, 2000など)。それらによると, 必ずしもすべての断層の運動が, 先の標高差に関与したわけではない。例えば, 高塚山地点の東方を南北に走る高

塚山断層(図1a)は, 高塚山粘土層が堆積したMIS11以降の時代は活動していないとされている(菅本・前田, 1989)。また, 横尾山断層, 高取山断層, 丸山断層, 長田断層も, 第四紀後半には活動を停止したか, 活動が不活発になったとみなされている(神戸市, 1998; 岡田・東郷, 2000)。したがって, それら以外の六甲・淡路島断層帯を構成する断層(大倉山断層など)が関与していると考えられる。大阪湾の沖合からおおよそ北東へ延びる大阪湾断層帯については, 沿岸部近くで垂直変位が小さくなり, 和田岬断層, 摩耶断層, 六甲アイランド断層

などに分岐すると推定されている（横倉ほか，1999）。そのうち摩耶断層は，MIS11以降に活動的ではなくなったと考えられている（加藤・小林，2002）。以上より，高塚山地点と摩耶および東灘コア地点間の標高差に大きく関与したのは，大倉山断層をはじめとする六甲・淡路島断層帯と和田岬断層およびその北東延長の伏在断層と考えられる（図4a）。

本研究で得られた，高塚山地点と摩耶および東灘コア地点間の変位速度は約0.8 m/千年であったが，これに関与した可能性のある六甲・淡路島断層帯と和田岬断層の変位速度についても，先行研究でおおまかな試算が出されている。活断層帯ごとでは，六甲・淡路島断層帯で0.4 m/千年，大阪湾断層帯で0.5～0.7 m/千年であり，いずれも六甲山地を含む北西側を隆起させている（活断層研究会，1991；地震調査研究推進本部，2005a, b）。そして和田岬断層は0.3 m/千年と推定されている（兵庫県，1996）。そのため，六甲・淡路島断層帯と和田岬断層を合わせた変位速度は約0.7 m/千年となる。本研究で求めた約0.8 m/千年の値は，堆積当時の地点間の標高差や圧密の効果など誤差要因を含むものの，上記の変位速度の和（約0.7 m/千年）と調和的であると考えられる。

石屋川南コアについてはこのコア地点が上位となる形で，摩耶および東灘コア地点との間にそれぞれ約80～110 m，60～90 mの標高差があった。石屋川南コア地点と両コア地点の間はともに約2.9 kmしか離れていないが，これも両地点間を走る断層の活動によるものと考えられる。大阪湾沿岸部の当地域には，大阪湾断層帯が北部で分岐した和田岬断層や摩耶断層などと六甲・淡路島断層帯の間を結ぶ形で，伏在断層（宮田・横道1999；横倉ほか，1999）が走っていると考えられている（図1a）。当地域では扇状地性の堆積物が厚く堆積しており，地表からの正確な断層位置の確認は難しい。しかし，宮田・横道（1999）は地中レーダを使った地下浅部調査により，石屋川南コア地点の北方において，北東－南西方向に走る伏在断層（中川，1996）が地下浅部まで変形を与えていることを確認している。また苦瓜（2009）は，大阪湾断層帯の北端にあたる摩耶断層などを北東へ延長する形で，石屋川南部や住吉川南部に伏在断層が複数存在することを指摘しており，周辺地域の地下に分布するMa13層などの海成粘土層にみられる標高差の原因としている。石屋川南コア地点と摩耶および東灘コア地点との間で検出された標高差は，主にこれらの伏在活断層の活動によるものと考えられよう。

まとめ

神戸市垂水区，高塚山の露頭試料と神戸市灘区石屋川

のボーリングコア試料について，MIS11の海進期に堆積したとされる海成層Ma9の珪藻分析を行った。そして，海水浮遊性珪藻の産出頻度のピークから，高塚山海成粘土層中に最大海進期を示す層準を認定した。この層準を，大阪湾沿岸の摩耶および東灘のボーリングコア試料のMa9層の珪藻分析結果に見られた，同じく最大海進期を示す層準と比較したところ，これらはMIS11.3の温暖期に相当する可能性が高いと考えられ，標高差はそれぞれ338.9 mおよび318.0 mとなった。またこれらの変位速度はともに約0.8 m/千年となった。これらは大倉山断層をはじめとする六甲・淡路島断層帯の断層や，大阪湾断層帯の一つである和田岬断層の北東へ延長して走る伏在断層などによる相対的な変動量と考えられる。一般に，単一地点の分析結果から求めた海面からの隆起量などの変動量は，圧密の効果や堆積当時の標高などによる誤差が大きいと考えられるが，本研究のように，複数の地点で最大海進期の層準を特定して比較することにより，それらのある程度相殺，減少させ，より正確な値を求めることができると考えられる。そのため，今後他のコアや露頭試料，他の間氷期の試料について分析を行うことにより，六甲変動の変遷をより詳細に復元できると考えられる。

謝 辞

2名の査読者からは論文を改善するための有益なご意見をいただきました，心よりお礼申し上げます。

要 旨

兵庫県南部沿岸域の中期更新世以降の地殻変動量の基礎データを得ることを目的として，神戸市垂水区高塚山の露頭試料と，同灘区石屋川のボーリングコア試料（石屋川南コア）についてMIS11の層準（大阪層群のMa9層）を対象に珪藻分析を行った。そして，神戸市灘区，東灘区のボーリングコア試料（摩耶コア，東灘コア）の同時期の珪藻群集データと比較した。露頭試料からは淡水から内湾環境への環境変遷とともに，最大海進期とみられる，海水浮遊性種の産出頻度が最大となる層準が見られた。これは摩耶および東灘コアの，MIS11.3の温暖期と考えられる。同様の最大海進期の層準に対比される可能性が高く，高塚山のそれとの標高差はそれぞれ338.9 m，318.0 mであった。またそれらの変位速度は約0.8 m/千年と求められた。これらは，六甲・淡路島断層帯や，大阪湾断層帯の一つである和田岬断層による相対的な変動量と考えられる。石屋川南コアについては明瞭な海進の層準は捉えられなかったが，摩耶および東灘コアの海

成層準と比較すると約 80 ~ 110 m, 60 ~ 90 m の標高差がみられた。

文 献

- Bassinot, F. C., Labeyrie, L. D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N. J. and Lancelot, Y. (1994) The astronomical theory of climate and the age of the Matuyama-Brunhes reversal. *Earth and Planetary Science Letters*, **126**, 91–108.
- Bennion, H., Sayer, C. D., Tibby, J. and Carrick, H. J. (2010) Diatoms as indicators of environmental change in shallow lakes. In Smol, J. P. and Stoermer, E. F. (eds.), *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*, 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 152–173
- Biswas, D. K., Hyodo, M., Taniguchi, Y., Kaneko, M., Katoh, S., Sato, H., Kinugasa, Y. and Mizuno, K. (1999) Magnetostratigraphy of Plio-Pleistocene sediments in a 1700-m core from Osaka Bay, southwestern Japan and short geomagnetic events in the middle Matuyama and early Brunhes chrons. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **148**, 233–248.
- 千葉崇・澤井祐紀 (2014) 環境指標種群の再検討と更新。Diatom, **30**, 17–30.
- Hartley, B., Barber, H. G. and Carter, J. R. (1996) An Atlas of British Diatoms. In Sims, P. A. (ed.), Biopress Ltd., Bristol, 601 p.
- 菊本格・前田保夫 (1989) 神戸の地層を読む 2—神戸・200 万年の自然史—。神戸自然出版会, 119 p.
- 藤田和夫・笠間太郎 (1983) 神戸地域の地質。地域地質研究報告書, 地質調査所, 115 p.
- 藤田和夫 (1990) 満池谷不整合と六甲変動—近畿における中期更新世の断層ブロック運動と海水準上昇—。第四紀研究, **29**, 337–349.
- 兵頭政幸・Biswas, D. K. (2002) 神戸市東灘コアの古地磁気層序—基準時間軸。コア精密対比による京阪神地域の地下地質・地下構造の高精度解説, コア精密対比研究会・日本応用地質学会関西支部, 61–71.
- 兵庫県 (1996) 平成7年度地震調査研究交付金 六甲断層帯に関する調査成果報告書。兵庫県, 213 p.
- 兵庫県立人と自然の博物館 (編) (1997) 阪神・淡路大震災と六甲変動—兵庫県南部地震域の活構造調査報告—。兵庫県神戸土木事務所, 106 p.
- Irizuki, T., Matsubara, T. and Matsumoto, H. (2005) Middle Pleistocene Ostracoda from the Takatsukayama Member of the Meimi Formation, Hyogo Prefecture, western Japan: significance of the occurrence of *Sinocytheridea impressa*. *Paleontological Research*, **9**, 37–54.
- Kariya, C., Hyodo, M., Tanigawa, K. and Sato, H. (2010) Sea-level variation during MIS11 constrained by stepwise Osaka Bay extensions and its relation with climatic evolution. *Quaternary Science Reviews*, **29**, 1863–1879.
- 加藤茂弘・佐藤裕司・松原尚志・兵頭政幸・檀原徹 (1999) 六甲山地西麓に分布する高塚山火山灰層のフィッシュン・トラック年代とその対比。第四紀研究, **38**, 411–417.
- 加藤茂弘・堀内誠示・佐藤裕司・松原尚志・古谷裕 (2000) 播磨平野東部に分布する明美累層・高塚山部層の石灰質ナンノ化石。人と自然, **11**, 61–67.
- 加藤茂弘・小林岳 (2002) 神戸地域の地下地質と地質構造。コア精密対比による京阪神地域の地下地質・地下構造の高精度解説, コア精密対比研究会・日本応用地質学会関西支部, 143–159.
- 加藤茂弘・岡田篤正・寒川旭 (2008) 大阪湾と六甲山, 淡路島周辺の活断層と第四紀における大阪・播磨灘堆積盆地の形成過程。第四紀研究, **47**, 233–246.
- 加藤茂弘 (2009) 明石・播磨地域。日本地質学会編「日本地方地質誌5 近畿地方」, 朝倉書店, 232–236.
- 活断層研究会 (編) (1991) 新編日本の活断層—分布図と資料。東京大学出版会, 437 p.
- 関西地盤情報活用協議会 (1998) 新関西地盤—神戸および阪神間—。関西地盤情報活用協議会, 270 p.
- Kobayashi, G., Mitamura, M., Yoshikawa, S., Katoh S. and Hyodo, M. (2002) Detailed stratigraphy of the GS-K2 and GS-K3 drilling cores mainly based on the correlation of volcanic ashes in the northwestern part of the Osaka sedimentary basin, Southwestern Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **45**, 101–123.
- 小林弘・出井雅彦・真山茂樹・南雲保・長田敬五 (編) (2006) 小林弘珪藻図鑑 第1巻。内田老鶴圃, 東京, 596 p.
- 神戸市 (1998) 六甲断層帯 (神戸市域) に関する調査成果報告書。神戸市, 45 p.
- 神戸市・建設工学研究所 (編) (1999) 阪神・淡路大震災と神戸の活断層。建設工学研究所, 55 p., 添付資料。
- Kotaki, A., Katoh, A. and Kitani, K. (2011) Correlation of Middle Pleistocene crystal-rich tephra layers from Daisen Volcano, southwest Japan, based on the chemical composition and refractive index of mafic minerals. *Quaternary International*, **246**, 105–117.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986) Bacillariophyceae 1, Naviculaceae. In Ettl, H. (ed.), *Pascher's Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2, Teil 1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876 p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1988) Bacillariophyceae 2, Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In Ettl, H. (ed.), *Pascher's Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2, Teil 2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 596 p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991a) Bacillariophyceae 3, Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In Ettl, H. (ed.), *Pascher's Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2, Teil 3. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991b) Bacillariophyceae 4, Achnanthaceae Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und

- Gomphonema. In Ettl, H. (ed.), *Pascher's Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2, Teil 4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437 p.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E. (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003. doi:10.1029/2004PA001071
- 前田保夫・髯本格 (1983) 神戸の地層を読む1—神戸市研究学園都市の自然史一. 神戸市立教育研究所, 115 p.
- Maegakiuchi, K., Hyodo, M., Kitaba, I., Hirose, K., Katoh, S. and Sato, H. (2016) Brief sea-level fall event and centennial to millennial sea-level variations during Marine Isotope Stage 19 in Osaka Bay, Japan. *Journal of Quaternary Science*, **31**, 809–822.
- 三田村宗樹・竹村恵二・北田奈緒子・斎藤礼子 (2000) 試錐資料からみた神戸・阪神間地域の地下地質. 第四紀研究, **39**, 319–330.
- 宮川ちひろ・吉川周作・池田善考 (1996) 神戸市中央区港島ポートアイランド, ボーリングコアの中・上部更新統火山灰層序. 地球科学, **50**, 456–465.
- 宮田隆夫・横道崇 (1999) 神戸市石屋川公園の伏在活断層を地下レーダで探る (予報). 神戸大学都市安全研究センター研究報告, **3**, 269–278.
- 中川康一 (1996) 深部地下構造と被害. 地質環境と地球環境シリーズ3, 阪神・淡路大震災—都市直下型地震と地質環境特性. 東海大学出版会, pp. 257–269.
- 苦瓜泰秀 (2009) 神戸市街地の表層地質から見た六甲・淡路断層帯と大阪湾断層帯の活動性の研究. 博士学位論文, 神戸大学大学院自然科学研究所, 60 p.
- Oba, T. and Banakar, V. K., 2007. Comparison of Interglacial Warm Events since the Marine Oxygen Isotope Stage 11. *The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu)*, **46**, 223–234.
- 岡田篤正 (1996) 兵庫県南部地震の地表断層と六甲・淡路島活断層帯. 日本地形学連合 (編), 兵庫県南部地震と地形災害. 古今書院, pp. 28–63.
- 岡田篤正・東郷正美 (編) (2000) 近畿の活断層. 東京大学出版会, 東京, 408 p.
- Round, F. E., Crawford, R. M. and Mann, D. G. (1990) *The Diatoms. Biology and morphology of the genera.* Cambridge University Press, Cambridge, 747 p.
- Sato, H., Tanimura, Y. and Yokoyama, Y. (1996) A characteristic form of diatom *Melosira* as an indicator of marine limit during the Holocene in Japan. *The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu)*, **35**, 99–107.
- 佐藤裕司・髯本格・ングチンケン・松浦康・前田保夫 (1997) 兵庫県における中部更新統・高塚山層 (神戸市垂水区) の堆積環境解析. 人と自然, **8**, 53–62.
- 佐藤裕司 (2014) 珪藻分析を用いた完新世の相対的海水準変動の復元. *Diatom*, **30**, 31–40.
- Sato, H., Ban, F., Katoh, S., and Hyodo, M. (2017) Sea-level variations during Marine Isotope Stage 7 and coastal tectonics in the eastern Seto Inland Sea area, western Japan. *Quaternary International*, **456**, 102–116.
- Sonneman, J. A., Sincock, A., Fluin, J., Reid, M., Newall, P., Tibby, J. and Gell, P. (2000) *An Illustrated Guide to Common Stream Diatoms from Temperate Australia.* Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology, Thurgoona, 166 p.
- 須貝俊彦・杉山雄一 (1999) 深層ボーリング (GS-NB-1) と大深度地震探査に基づく濃尾傾動盆地の沈降・傾動速度の総合評価. 地質調査所速報, no. EQ/99/3 (平成10年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 77–87.
- 田中俊雄・佐藤裕司・加藤茂弘 (2019) 前期更新世における大阪堆積盆地北西部の環境変遷. 人と自然, **30**, 1–22.
- 渡辺仁治 (編) (2005) 淡水珪藻生態図鑑 群集解析に基づく汚濁係数 DAIPo, pH 耐性能. 内田老鶴圃, 東京, 666 p.
- 横倉隆伸・山口和雄・加野直巳・宮崎光旗・井川 猛・太田陽一・川中 卓・阿部進 (1999) 神戸・芦屋周辺地域における反射法深部構造探査. 地質調査所月報, **50**, 245–267.
- 吉川周作・三田村宗樹 (1999) 大阪平野第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対比. 地質学雑誌, **105**, 332–340.

付 記

- 地震調査研究推進本部 (2005a) 六甲・淡路島断層帯の長期評価について.
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/05jan_rokko/index.htm (2021年7月20日閲覧)
- 地震調査研究推進本部 (2005b) 大阪湾断層帯の長期評価について.
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/05jan_osaka/index.htm (2021年7月20日閲覧)

埼玉県秩父盆地，尾田蒔丘陵のチバニアン期（中期更新世）テフラの 岩石記載的特徴とフィッション・トラック年代

加藤 茂弘^{1)*}・檀原 徹²⁾・山下 透²⁾・岩野 英樹²⁾

Petrological characteristics and zircon fission-track ages of Chibanian (middle Pleistocene) tephra layers on the Odamaki Hill in the Chichibu Basin, Saitama Prefecture, eastern Japan

Sigehiro KATO^{1)*}, Tohru DANHARA²⁾, Tohru YAMASHITA²⁾
and Hideki IWANO²⁾

Abstract

More than 20 Chibanian tephra layers have been deposited on the higher terrace surface (Odamaki surface) along the Ara River in the Chichibu Basin. The grain and heavy mineral compositions and refractive indices of orthopyroxene and amphibole phenocrysts were analyzed in 17 samples from the OD1 (lowest) to Tama 128 (uppermost) tephra layers, to re-examine previous work on tephra correlation. OD1 exhibited petrographic features different from those reported in previous studies and was correlated to Kap-5 tephra in the southern Kanto region. Four biotite-rich volcanic ashes denoted OD6, OD9, OD11, and OD15, were correlated robustly with A₁Pm to A₄Pm of the Omachi APm tephra layers, respectively. However, no tephra layer in the basin could be correlated with Yt-hop tephra at the eastern foot of the Yatsugatake Volcano Group. The zircon fission-track (FT) dates of OD2 and OD6 were determined to be 510 ± 160 and 350 ± 70 ka (1σ error each), respectively; a more precise FT age of 356 ± 29 ka was obtained for OD6. All FT dates obtained using the same procedures and instruments revealed A₁Pm to have a weighted mean age of 375 ± 21 ka. The estimated eruptive ages of OD2 and OD6 suggest that the Odamaki surface was formed between 500 and 600 ka.

Key words: Chibanian tephra, petrographic characteristics, fission-track dating, Omachi APm tephra layers, Odamaki surface, Chichibu Basin

(2021年8月23日受付, 2021年10月8日受理, 2022年1月5日発行)

¹⁾ 兵庫県立人と自然の博物館 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6
Museum of Nature and Human Activities, Hyogo; 6 Yayoigaoka, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan

* Corresponding author: katochan@hitohaku.jp

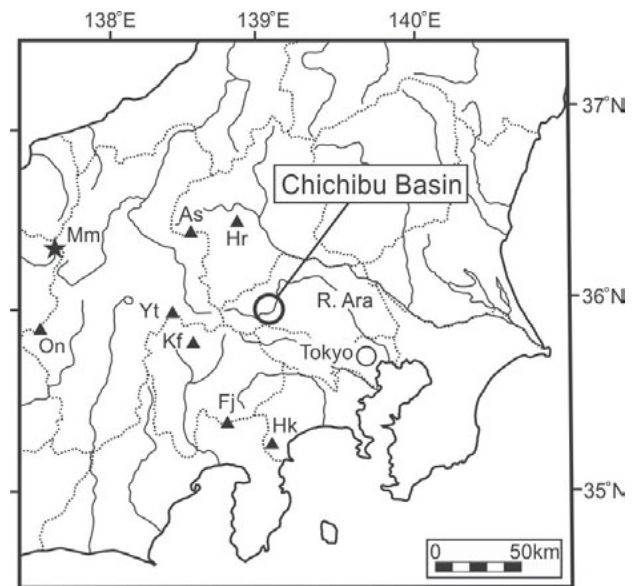
²⁾ 株式会社京都フィッション・トラック 〒603-8832 京都市北区大宮南田尻町44-4
Kyoto Fission-Track Co., Ltd.; 44-4 Minamitajiri-cho, Kita-ku, Kyoto, 603-8832 Japan

はじめに

関東地方西部の荒川中流域に位置する秩父盆地では(図1), 荒川とその支流の赤平川に沿って多数の河岸段丘が分布し, それらは高位(上位)段丘面, 中位段丘面, および低位(下位)段丘面群に大別されている(町田・井口, 1952; 町田・磯田, 1983; 吉永・宮寺, 1986など). 高位段丘面は, 荒川~赤平川間に開析が進んでやせ尾根状を呈する堆積面を残しており(図2), 尾田^{おだ}蔀^{まき}面(埼玉県, 1954; 町田・磯田, 1983; 吉永・宮寺, 1986), あるいは尾田蔀丘陵(矢部・青木, 1907; 皆川・町田, 1971)と呼ばれている. 尾田蔀面は厚さ30~40mの扇状地性砂礫層(尾田蔀礫層: 町田・磯田, 1983)から構成され, その上位には, 秩父盆地の西方に位置する八ヶ岳火山や黒富士火山(図1)などから噴出した多数のテフラが挟在する, 厚さ15~20mの火山灰土層(尾田蔀ローム層)が堆積している(皆川・町田, 1971; 町田・磯田, 1983など). 尾田蔀ローム層は多摩ローム層に対比され(羽鳥・寿円, 1958), その中部に挟在する黒雲母に富む厚さ10~15cmの細粒火山灰は, 関東平野西縁部に分布する八王子黒雲母軽石(HBP: 皆川・町田, 1971; 町田, 1973)に対比される可能性が示唆された(皆川・町田, 1971; 町田・磯田, 1983).

鈴木・早川(1990)は, この火山灰をHBPに対比できないとして尾田蔀火山灰(ODA)と命名し, その上位に3層の黒雲母に富む細粒火山灰を新たに識別・記載して, 上位の2層を飛騨山脈にあった^{もみさわだけ}横沢岳火山(水鉛谷火道)(図1)を噴出源とする(原山, 1987)大町APmテフラ群(A₁Pm~A₅Pm: 中谷, 1972; 木村, 1987)に対比した. また, 鈴木(2000)は, 尾田蔀ローム層に挟在するテフラを下位よりOD1~OD17と命名した. OD13とOD17はそれぞれ, 鈴木・早川(1990)により八ヶ岳火山起源の角閃石含有白色軽石(Yt-hop: 町田・新井, 2003; Ho. 白Pm: 八ヶ岳団体研究グループ, 1988)と加久藤テフラ(Kkt: 町田・新井, 2003)に対比されたテフラである. 4層の黒雲母含有火山灰は, 下位より順にOD6(=ODA), OD9, OD11, OD15に相当する. 鈴木(2000)は, これらの黒雲母含有火山灰の岩石記載的特徴を再検討し, 普通角閃石の屈折率やチタン鉄鈹の主成分化学組成, およびYt-hopとの層位関係に基づき, OD6をHBPとA₁Pmに, OD9, OD11およびOD15をA₂Pm, A₃PmおよびA₄Pmに, それぞれ対比した. さらに南関東地域に分布するTE-5テフラがHBPに対比されること(町田ほか, 1974)から, OD6, HBPおよびTE-5は全てA₁Pmに対比可能であると考えた(鈴木, 2000, 2008).

尾田蔀ローム層中のテフラの岩石記載的特徴については, 町田・磯田(1983)が重鈹物組成を, 関東火山灰グループ(1992, 2001)が鈹物組成と一部のテフラの普通角閃石・カミングトン閃石・直方輝石(従来の斜方輝石)の屈折率を, 鈴木・早川(1990)や鈴木(2000)が主にAPmテフラ群に対比可能なテフラを対象に鈹物組成, 直方輝石・普通角閃石の屈折率, およびチタン鉄鈹の主成分組成を, それぞれ報告している. 近年では坂田ほか(2012)が, APmテフラ群以外の軽石質テフラの重鈹物組成や普通角閃石・カミングトン閃石の屈折率を報告し, OD1の普通角閃石の屈折率が上位の軽石質テフラ群のそれよりも明らかに高く, テフラ対比に際して有効な指標となると指摘し, さらに岩石記載的特徴に基づくOD13とYt-hopの対比(鈴木・早川, 1990など)には問題があると述べた. しかし, 坂田ほか(2012)はOD1がカミングトン閃石を含まないとしているが, 関東火山灰グループ(2001)はOD1がカミングトン閃石を2%ほど含むとしており, 普通



Volcanoes, As: Asama, Hr: Haruna, Yt: Yatsugatake, Kf: Kurofujii, Fj: Fuji, Hk: Hakone, On: Ontake, Mm: Momisawadake (Suiendani vent).

図1 関東地方西部, 荒川中流域の秩父盆地とその西方に位置する主な第四紀火山.
横沢岳火山(Mm)は残存する水鉛谷火道から推定された飛騨山脈に位置する第四紀火山で, 大町APmテフラ群の給源火山と推定されている(原山, 1987).

Figure 1. Locations of the Chichibu Basin along the middle reach of the Ara River in the western part of Kanto District, eastern Japan, and the main Quaternary volcanoes west of the basin.
The Momisawadake (Mm) is the Quaternary source volcano of the APm tephra inferred from the Suiendani Vent found in the Hida Mountains (Harayama, 1987).

角閃石の屈折率も両者で異なる。したがって、坂田ほか (2012) で記載された OD1 が、関東火山灰グループ (2001) が記載した OD1 とは異なるテフラである可能性も残されている。

ところで、OD6 (ODA) は中部・関東地方を広く覆うチバニアン期の広域指標テフラである A₁Pm に対比可能であり、A₁Pm の噴出年代はこれらの地域における中期更新世の古環境変動や段丘発達史を明らかにするうえで重要な意義を持つ (鈴木・早津, 1991)。A₁Pm とそれに対比されるテフラでは、350～470 ka のジルコン結晶を用いたゼータ較正に基づくフィッシュン・トラック (FT) 年代 (町田, 1996; 鈴木ほか, 1998; 檀原ほか, 1999; 伊藤, 1999 など) や、260～700 ka の石英の熱ルミネッセンス (TL) 年代および電子スピン共鳴 (ESR) 年代 (平賀・市川, 1988; 今井・下川, 1990; Toyoda et al., 2006; Tsukamoto et al., 2007) が得られてきた。さらに、赤色アイソサーマル熱ルミネッセンス (RITL) 年代として 388 ± 50 ka (Tsukamoto et al., 2007) が、ジルコンの (U-Th) / He 年代として 375 ± 13 ka (Ito and Danišik, 2020) が、それぞれ得られている (誤差はともに 2σ)。しかし、A₁Pm の噴出年代には、酸素同位体ステージ (MIS) 11 のピーク直後の 380～410 ka (鈴木, 2000; 斉藤, 2000; 中澤ほか, 2009; 坂田ほか, 2011 など)、MIS10 の寒冷期のピーク付近の 350～360 ka (町田・新井 2003; 町田, 2008)、および MIS11 から MIS10 に向けて寒冷化する時期の 360～380ka (鈴木, 2008; 中里・檀原, 2005 など) とする 3 つの見解があり、一致をみしていない。

本研究では、尾田蒔ローム層に挟在する OD1 から Tama128 (関東火山灰グループ, 2001) までのテフラのうち、17 層のテフラの粒子組成・重鉱物組成、直方輝石・普通角閃石・カミングトン閃石の屈折率などの岩石記載的特徴を明らかにし、OD1 の重鉱物組成や普通角閃石の屈折率の相違、黒雲母含有火山灰と A₁Pm テフラ群との対比、および OD13 と Yt-hop の対比などを再検討する。次に、尾田蒔ローム層中で下位より 2 番目のテフラである OD2 と、A₁Pm に対比された OD6 (ODA) を対象として、ゼータ較正されたジルコン FT 年代測定を行った。さらに OD6、HBP、TE-5 などの関東地方で A₁Pm に対比されたテフラを対象として、同一機関、同一手法で行われたジルコン FT 年代測定結果を総合し、A₁Pm の噴出年代を検討するとともに、OD2 のジルコン FT 年代などを加味して尾田蒔面の形成年代を考察する。

試 料

皆川・町田 (1971)、町田・磯田 (1983)、鈴木・早川 (1990) が報告した尾田蒔丘陵南部、埼玉県秩父市安立^{やすだて}の露頭 (北緯 35° 58' 37.1", 東経 139° 02' 29.1") (図 2, Loc.1) において、1985 年から 2000 年にかけて、テフラ露頭の記載と、FT 年代測定および岩石記載的特徴の分析用試料の採取を行った。本地点は、埼玉県秩父群^{おがのまちながる}小鹿野町長留の防災基地南方の粘土採掘場の露頭 (北緯 35° 58' 37.1", 東経 139° 02' 29.1") (図 2 の★) の約 200 m 北に位置する。安立付近から露頭に向かう道路の切割では尾田蒔礫層が観察できた。露頭付近では礫層最上部の基質が火山灰質粘土となり、礫層直上に堆積する OD1～OD2 間の火山灰土中にまで小礫や細礫が散在したり、それらを混入する砂層のレンズが挟在したりすることから、尾田蒔面は OD1 の降灰前後に離水したとみられる。

本研究ではまず、OD1 から OD17 (Kkt) までのテフラから試料を採取した (図 3)。OD7 や OD10 は軽石の密集層準であったが、上限・下限が不明瞭であった。OD12 は直下の火山砂と軽石、スコリアが混交した堆積状況を示し、OD14 は直下の OD13 や直上の OD15 との境界が漸移的であった。このようにテフラ層として露頭で明瞭に識別できなかったため、これらのテフラからは試料を採取しなかった。一方、OD4 では上下 2 層の降下ユニットが、OD5 では中部の赤褐色スコリアを含む 3 層の降下ユニットが確認されたことから、各ユニットから試料を採取した。さらに OD17 では前処理後に十分な量の粒子を得ることができなかったため、以下では、各テフラから採取して分析した試料をテフラ名に対応させて、下位より順に Od-1～Od-16 のように表記する (表 1)。また、OD4 では上下の各降下ユニットからの試料を Od-4U および Od-4L、OD5 では 3 層の降下ユニットからの試料を下位から Od-5L、Od-5M および Od-5U とした。

OD17 より上位のテフラでは、関東火山灰グループ (2001) の Tama125、Tama126、Tama128 と、Tama126～Tama127 間の 2 層の白色軽石・褐色スコリア・青灰色岩片の密集層から試料を採取した (図 3)。Tama127 は厚さ 10 cm のスコリア層とされている (関東火山灰グループ, 2001)。Tama128 の約 1 m 下位にスコリアが多く散在する層準があり、これが Tama127 に相当すると判断したが (図 3)、上限・下限が不明瞭であったため試料を採取しなかった。本研究では、これら OD17 より上位のテフラを、下位より順に、安立 1～安立 5 テフラ (YS1～YS5) と仮称し、採取した試料名も上記と同様な略号 (Ys-1～Ys-5) とした

(図3, 表1). YS1がTama125, YS2がTama126, YS5がTama128に相当する. さらにOD6は厚さ約10~15 cmの全層から, OD2は基底から約10 cm上位までの部分から, それぞれ湿潤重量で0.5~1.0 kgを採取してFT年代測定用試料とした.

方法

1. テフラ分析

50~100 gのテフラ試料を500 mlポリプロピレンビーカーに取り, 約5%の過酸化水素水を加えて24時間放置した後, 超音波洗浄と水簸を繰り返して粒径1/16 mm未満の粒子を除去した. 水簸の際には篩径0.063 mm (250メッシュ)のステンレス篩を用いて, 黒雲母ができるだけ流失しないように配慮した. 残った粒径1/16 mm以上の粒子に2~5%に薄めた塩酸を加えて24時間放置し, 超音波洗浄と水簸を繰り返して粘土分を完全に除去した後, 自然乾燥させた. 乾燥後の試料を篩分け, 粒径1/2 mm以上, 1/2~1/4 mm, 1/4~1/8 mm, 1/8~1/16 mmの4つの粒子集団を

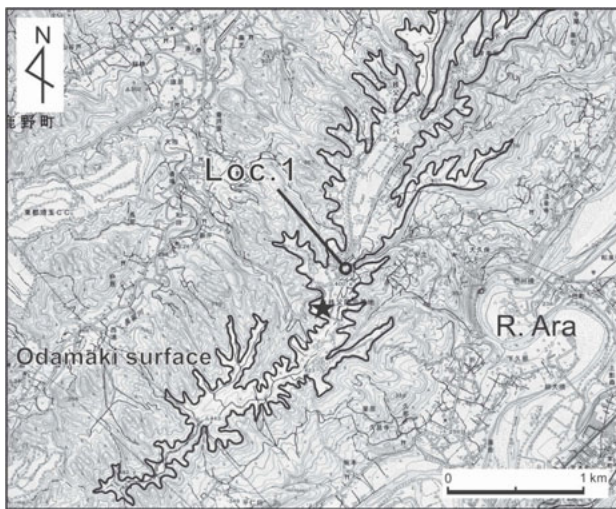


図2 秩父盆地南西部の尾田嵯面(荒川の高位段丘面)とそれを覆うチバニアン期テフラ層の試料採取地点. 星印は鈴木(2000, 2008)や坂田ほか(2012)の試料採取地点. 基図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図「皆野」および「秩父」を使用.

Figure 2. Sampling site for the Chibanian tephra layers deposited on the Odamaki surface (the higher terrace surface along the Ara River) in the southwestern part of the Chichibu Basin.

A star indicates the sampling site used by Suzuki (2000, 2008) and Sakata et al. (2012). Topographic maps used, “Minano” and “Chichibu”, have a scale of 1:25,000 and are published by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

得た. なおOD17は, 試料の洗浄・ふるい分け後に粒径1/16 mm以上の粒子がほとんど得られず, 分析できなかった. 本研究では, 主に粒径1/8~1/16 mmの粒子をテフラの粒子組成と重鉱物組成の分析に用いた. ただし, 同粒径範囲の粒子が乏しい試料(Ys-3とYs-4など)では, 粒径1/4~1/8 mmの粒子について粒子組成と重鉱物組成を分析した. ほとんどのテフラで風化により火山ガラスが残存していなかったため, 火山ガラスの形態は分析しなかった.

粒子組成と重鉱物組成は加藤ほか(2001)を参照し, 粒径1/8~1/16 mmの粒子は200倍の偏光顕微鏡下で, 粒径1/4~1/8 mmの粒子は100倍の双眼実体顕微鏡下で, 構成粒子および重鉱物をそれぞれ200個観察し, 同定・計数した. 粒子組成では, 粒子を火山ガラス, 長石類, 石英, 重鉱物, 岩片, その他(玉髄や風化粒子など)に区分し, 石英では高温型石英(β -石英)の有無を確認した. 重鉱物組成では, カンラン石, イディングサイト(Iddingsite), 直方輝石, 普通輝石, 普通角閃石(色調により緑色普通角閃石と褐色普通角閃石に区分), カミングトン閃石, 不透明(鉄)鉱物(磁鉄鉱, 赤鉄鉱, 褐鉄鉱など), 黒雲母, ジルコン, 燐灰石, その他(緑簾石や同定不能な重鉱物)を同定, 計数した. 偏光顕微鏡下でのイディングサイトや不透明鉱物の同定は, 透過光と落斜光による観察を併用して行った.

重鉱物の屈折率は, 直方輝石, 普通角閃石, カミングトン閃石を対象とし, それぞれ最大屈折率(直方輝石は γ , 普通角閃石とカミングトン閃石は n_2)を測定した. 屈折率は, 檀原(1993), Danhara et al. (1992), および鎌田ほか(1994)に従って, 30粒子以上の結晶について温度変化型屈折率測定装置(兵庫県立人と自然の博物館に設置のRIMS86と株式会社京都フィッシュン・トラックに設置のRIMS87もしくはRIMS2000)を用いて測定した. この方法による鉱物の屈折率の測定誤差は, ± 0.001 とされている(檀原, 1993).

2. OD2とOD6(ODA)のジルコンFT年代測定

OD2から採取した試料(自然乾燥後の重量665 g)を粉碎, 超音波洗浄した後, 水簸を繰り返して重鉱物を濃集させ, NEOMAX磁石を用いて磁選した. 得られた非磁性粒子を比重3.06に調整したSPT重液を用いて重液分離し, ジルコン結晶約3000個を得た. きわめて均質な自形ジルコン結晶が豊富に得られ, かつフィッシュン・トラックの計数面積を広くとることができる粗粒結晶を多く含むことから, FT年代測定には適していると判断された. OD6から採取した試料(自然乾燥後の試料から46.3 gを処理)も同様に処理し, ジルコン結晶約3000個を得た. ジルコン結晶は淡桃色細粒で均

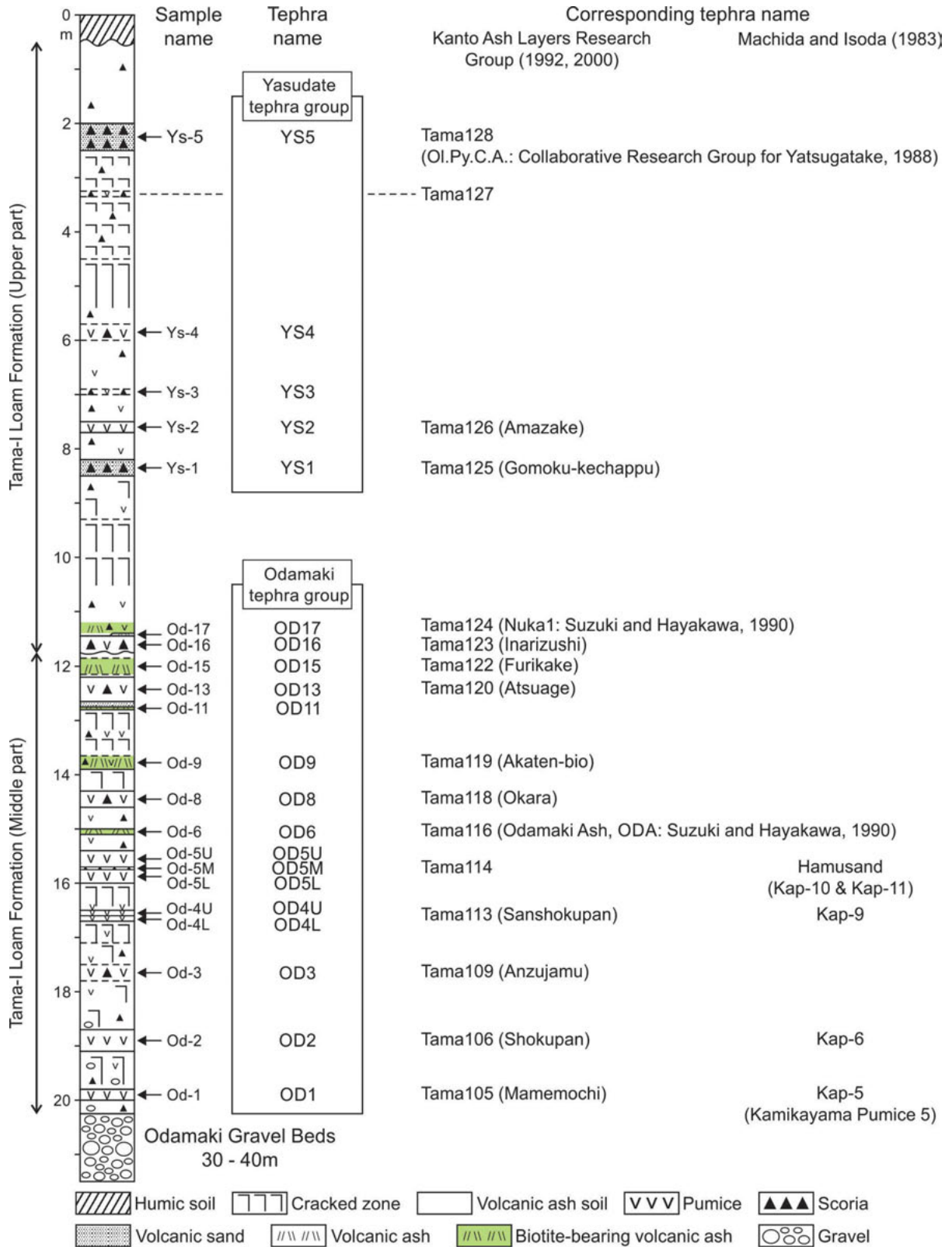


図 3 尾田時面上のチバニアン期テフラ層の地質柱状図と試料の採取層準。

テフラ層名は、OD1～OD17が鈴木（2000）、Tama125～Tama128は関東火山灰グループ（2001）に基づく。降下ユニットが明瞭なOD4は上・下部の2ユニット（OD4U、OD4L）から、OD5は上・中・下部の3ユニット（OD5U、OD5M、OD5L）から、それぞれ試料を採取した。

Figure 3. Geologic columnar section of the Chibanian tephra layers on the Odamaki surface with horizons of the sampled tephtras. The names of the tephra layers from OD1 to OD17 and those from Tama125 to Tama128 have been derived from Suzuki (2000) and Kanto Ash Layers Research Group (2001), respectively. The samples analyzed were taken from individual air-fall units of OD4 (upper and lower units: OD4U and OD4L) and OD5 (upper, middle and lower units: OD5U, OD5M and OD5L).

表 1 秩父盆地，尾田礫面上のチバニアン期テフラ層の岩石記載的特徴

Table 1. Petrographic characteristics of the Chibanian tephra layers deposited on the Odamaki surface in the Chichibu Basin, eastern Japan.

Sample Name analyzed grain size (mm)	Color and lithology	Thickness (cm)	Grain composition (%)								Heavy mineral composition (%)											
			Gl	Lm		Hm	Rf	Ot	Total No.	Ol	Id	Opx	Cpx	Gho	Bho	Cum	Opq	Bt	Zr	Ap	Ot	Total No.
Yasudate tephra group																						
Yasudate-5 (Ys-5)	r.br - or	30-90	0	0	4	52	39	5	200	25	3	24.5	12	2.5	0	0	24	7	0	2	0	200
1/8-1/16 (upper) & 1/8-1/4 (lower)	vs, sc		0	0.5	1	67.5	12	19	751	11	48	5.5	14.5	2	0	0	17.5	1.5	0	0	*	507
Yasudate-4 (Ys-4)	w.gr, or, bl.gr	30	0	6.5	23	22	24	24.5	1241	2	14	0	1	6.5	0.5	0	69.5	6	0.5	0	0	271
1/8-1/4 only	pm, sc, li																					
Yasudate-3 (Ys-3)	w.gr, or, bl.gr	10-20	0	1.5	5.5	76.5	16	0.5	433	0.5	27.5	0	0	11	0.5	0	54	6.5	0	0	0	330
1/8-1/4 only	pm, sc, li																					
Yasudate-2 (Ys-2)	w.gr, or, bl.gr	10-20	0	7	45	25	17	6	200	0	7	0.5	0.5	27	2	5	48.5	9	0	0.5	0	200
	pm>sc, li		0	19.5	53	22	4.5	1	1124	0.5	9.5	0.5	0	33.5	2	*	49	4	1	0	0	246
Yasudate-1 (Ys-1)	or - r.br	30-40	0	1	3	93	2	1	200	0	0.5	4	1	*	0	0	94	0	0	*	0.5	200
	vs, sc>>pm		0	*	2.5	95.5	1	1	947	*	4	9	0.5	0	0	0	86.5	*	0	0	*	906
Odamaki tephra group																						
Upper Odamaki tephra group																						
Odamaki-16 (Od-16)	y.br	25-30	0	1	5	37	24.5	32.5	200	0	14.5	0.5	*	6.5	1	1	39	37	0	0.5	0	200
1/16-1/8	pm, sc, li		*	2.5	10.5	73	3.5	10	200	1	0	3	0.5	39.5	1	0	36.5	18	0	0.5	0	200
Odamaki-15 (Od-15)	y.br - br	30-40	0	*	9	31	0	60	200	0	0	0	0	2	*	*	18.5	79.5	*	0	0	200
1/16-1/8	va>sc, pm, li		0	*	8	74.5	15.5	2	200	0	4	0	0	1.5	*	0.5	8.5	85	0	0	0	200
Odamaki-13 (Od-13)	w.gr	40-70	0	2	34.5	60	3	0.5	200	0	0	0	0	73.5	0.5	9	15.5	1.5	0	0	0	200
1/16-1/8	pm>sc, li																					
Odamaki-11 (Od-11)	br	5-8	0	*	10	84.5	0	5.5	200	0	0	0	0	1.5	0	*	11.5	86.5	0.5	0	0	200
1/16-1/8	va>sc, pm, li																					
Odamaki-9 (Od-9)	br	20-25	0	*	11.5	82	0	6.5	200	0	0	0	0	3	*	*	18	79	0	0	0	200
1/16-1/8	va>sc, pm, li																					
Odamaki-8 (Od-8)	w.gr	20-50	0	2	20	75.5	2.5	0	200	0	0	0	0	38.5	3	*	56.5	1	*	1	0	200
1/16-1/8	pm, sc, li																					
Odamaki-6 (Od-6)	gr - y.gr	8-15	0	3	20	74	0	3	200	0	0	0	0	2	0	*	3.5	94	0.5	0	0	200
= Odamaki Ash (ODA)	va		0	11.5	59	24.5	5	0	200	0	0	0	0	3	0	0	93.5	—	4	0	0	200
1/16-1/8																						
Odamaki-5U (Od-5U)	w.gr	25-30	0	0	10	90	0	0	200	0	0	0	0	66.5	*	0	33	0	0	0.5	0	200
1/16-1/8	pm, li>sc																					
Odamaki-5M (Od-5M)	br - r.br	5	0	0.5	11.5	86.5	0.5	1	200	0	0	0	0	66	0	*	33	0	0	0	0	200
1/16-1/8	sc (li)																					
Odamaki-5L (Od-5L)	w.gr	20-25	0	0	8	91.5	0.5	0	200	0	0	0	0	76	0.5	*	23	0.5	0	0	0	200
1/16-1/8	pm, li>sc																					
Lower Odamaki tephra group																						
Odamaki-4U (Od-4U)	w.gr	10-15	0	0	19	67	5.5	8.5	200	0	0	*	0	64.5	0.5	4.5	21.5	8.5	0	0.5	0	200
1/16-1/8	pm, li																					
Odamaki-4L (Od-4L)	w.gr	10-15	0	2.5	37.5	56.5	3.5	0	200	0	0	*	0	66	1	1.5	21	0.5	*	0	0	200
1/16-1/8	pm, li																					
Odamaki-3 (Od-3)	w.gr - y.gr	20-30	0	2.5	2.5	70.5	23.5	1	200	0	0	*	0	9.5	1	*	82	7	0.5	*	0	200
1/16-1/8	pm, sc, li																					
Odamaki-2 (Od-2)	w.gr - p.wh	40-50	0	1	20	77.5	1.5	0	200	0	0	*	0	71.5	1	1	26	0.5	0	0	0	200
1/16-1/8	pm, li																					
Odamaki-1 (Od-1)	y.br - y.gr	15-20	0	18.5	17	63.5	1	0	200	0	0	0	0	54	0.5	5	40	0.5	0	0	0	200
1/16-1/8	pm, li		0	2	25	69	2.5	1.5	200	0	0	0	0	52.5	1	1	41	4.5	0	0	0	200

1) Analyzed grain size: fractions between 1/8 and 1/4 mm are identified using binocular microscope $\times 100$, and those between 1/16 and 1/8 mm are identified using polarizing microscope $\times 200$.
 2) Color and lithology: gr, gray, bl.gr, bluish gray, y.gr, yellowish gray, w.gr, whitish gray, br, brown, r.br, reddish brown, y.br, yellowish brown, or, orange, p.wh, pinkish white; pm, pumice, sc, scoria, li, lithic fragment, vs, volcanic sand, va, volcanic ash.
 3) Grain composition: Gl, volcanic glass shards, Lm, light minerals (Qz, quartz, Fl, feldspar; gothic numbers indicate containing of β -quartz), Hm, heavy minerals, Rf, rock fragment, Ot, other grains. * < 0.5 %
 4) Heavy mineral composition: Ol, olivine, Id, iddingsite, Opx, orthopyroxene, Cpx, clinopyroxene, Gho, green hornblende, Bho, brown hornblende (including oxihornblende), Cum, cummingtonite, Opq, opaque minerals, Bt, biotite, Zr, zircon, O, other minerals. * < 0.5 %

質な自形結晶であり，FT 年代測定試料としては非常に良好であると判断された。

FT 年代測定は，地質年代学サブコミッションによる FT 年代測定の標準化に関する勧告 (Hurford, 1990a, b) に従い，ゼータ校正 (Hurford and Green, 1983) による外部ディテクター法 (Danbara et al., 1991 ; 岩野・檀原, 1997 ; Iwano and Danbara, 1998) に

より行った。いずれも結晶外面の上の FT 長分布に短いものが観察されないことから外部効果の影響を無視できると判断して，FT 識別に有利な結晶面外面面を利用する外部ディテクター法 (ED2) を採用した。結晶外面のエッチングは KOH : NaOH = 1 : 1 (モル比) エッチャントを用い，225 ~ 227 °C で 47 時間行った。熱中性子の照射は立教大学原子力研究所回転試

表 1 (続き) 秩父盆地, 尾田蔭面上のチバニアン期テフラ層の岩石記載的特徴

Table 1 (continued). Petrographic characteristics of the Chibanian tephra layers deposited on the Odamaki surface in the Chichibu Basin, eastern Japan.

Sample Name	This study	Refractive index (mode) (number)			Corresponding tephra name		
		glass (n), orthopyroxene (γ), hornblende (n_2)	Kanto Ash Layers Research Group (2001)	Sakata et al. (2012)	Suzuki and Hayakawa (1990)	Suzuki (2000, 2008)	Kanto Ash Layers Research Group (1992, 2001)
Yasudate tephra group							
Yasudate-5 (Ys-5)	$\gamma = 1.696-1.707$ (1.700-1.705) (30)				—	Tama 128 OL.Py.C.A. ¹⁾	—
Yasudate-4 (Ys-4)	$n_2 = 1.688-1.696$ (1.690) (40), 1.683				—	—	—
Yasudate-3 (Ys-3)	—				—	—	—
Yasudate-2 (Ys-2)	$n_2 = 1.663-1.676$ (1.666) (52) $n_2 = 1.655-1.661$ (1.657) (cum) (32)	$n_2 = 1.664-1.669$			—	Tama 126 (Amazake)	—
Yasudate-1 (Ys-1)	$\gamma = 1.694-1.705$ (1.700-1.702) (30)				—	Tama 125 (Gomoku kochappu)	—
Odamaki tephra group							
Upper Odamaki tephra group							
Odamaki-16 (Od-16)	$n_2 = 1.682-1.696$ (1.686-1.689) (57) $n_2 = 1.699-1.710$ (Bho) (8) $n_2 = 1.667-1.670$ (6), 1.674-1.676 (3)				OD16	Tama 123 (Inarizushi)	—
Odamaki-15 (Od-15)	$n_2 = 1.684-1.698$ (1.686-1.687, 1.692-1.694) (47) $n_2 = 1.667-1.676$ (1.669-1.670) (15) $n_2 = 1.659-1.661$ (cum) (3)	$n_2 = 1.665-1.671$ (1.668) (30) $n_2 = 1.668-1.692$ (1.690) (30)	$n_2 = 1.685-1.695$		OD15 $A_2Pm^{2)}$	Tama 122 (Funikake)	—
Odamaki-13 (Od-13)	$n_2 = 1.664-1.671$ (1.668) (47), 1.680-1.692 (4) $n_2 = 1.655-1.659$ (1.657) (cum) (40)	$n_2 = 1.665-1.671$	$n_2 = 1.664-1.674$ (1.670) (30) $n_2 = 1.657-1.661$ (1.657-1.659) (cum) (33)	$n_2 = 1.666-1.674$	OD13 Yt-hop ³⁾	Tama 120 (Atsuage)	—
Odamaki-11 (Od-11)	$n_2 = 1.668-1.679$ (1.676) (29), 1.683 $n_2 = 1.687-1.693$ (8)				OD11 $A_2Pm^{4)}$	—	—
Odamaki-9 (Od-9)	$n_2 = 1.669-1.674$ (1.671-1.672) (27) $n_2 = 1.684-1.696$ (1.689) (17) $n_2 = 1.660$ (cum) (1)			$n_2 = 1.666-1.672$	OD9 $A_2Pm^{5)}$	Tama 119 (Akaton-bio)	—
Odamaki-8 (Od-8)	$n_2 = 1.668-1.674$ (1.670) (40) $n_2 = 1.685-1.692$ (1.687, 1.690) (20) $n_2 = 1.656-1.659$ (6) (cum)	$n_2 = 1.666-1.672$	$n_2 = 1.665-1.672$ (1.667-1.669) (29)		OD8	Tama 118 (Okara)	—
Odamaki-6 (Od-6)	$n_2 = 1.686-1.700$ (1.688, 1.692-1.694) (40) $n_2 = 1.667-1.675$ (9) $n_2 = 1.659$ (cum) (1)		$n_2 = 1.686-1.697$		OD6 (ODA) $A_2Pm^{6)}$ TE-5 ³⁾ TE-5a ³⁾	Tama 116 (Hachioji Biotite Pumice)	HBP ³⁾
Odamaki-5U (Od-5U)	$n_2 = 1.668-1.673$ (1.670) (40)	$n_2 = 1.666-1.670$ (Od-5U / Od-5L)	$n_2 = 1.665-1.671$ (1.668-1.669) (30)		OD5	Tama 114 (Ham sand)	Kap-11 ⁶⁾
Odamaki-5M (Od-5M)	$n_2 = 1.668-1.673$ (1.670) (40)		$n_2 = 1.667-1.672$ (1.670) (30)		OD5	Tama 114 (Ham sand)	—
Odamaki-5L (Od-5L)	$n_2 = 1.668-1.672$ (1.670) (40)		$n_2 = 1.666-1.673$ (1.670) (30)		OD5	Tama 114 (Ham sand)	Kap-10 ⁶⁾
Lower Odamaki tephra group							
Odamaki-4U (Od-4U)	$n_2 = 1.667-1.672$ (1.670) (40) $n_2 = 1.656-1.660$ (1.658) (cum) (40)	$n_2 = 1.665-1.669$ (Od-4U / Od-4L)	$n_2 = 1.666-1.672$ (1.669-1.670) (30) $n_2 = 1.657-1.662$ (1.659) (cum) (30)		OD4	Tama 113 (Sanshokupan)	Kap-9 ⁶⁾
Odamaki-4L (Od-4L)	$n_2 = 1.667-1.672$ (1.669) (40) $n_2 = 1.656-1.659$ (cum) (34)		$n_2 = 1.667-1.670$ (1.668-1.670) (30) $n_2 = 1.657-1.661$ (1.658) (cum) (30)		OD4	Tama 113 (Sanshokupan)	Kap-9 ⁶⁾
Odamaki-3 (Od-3)	$n_2 = 1.667-1.673$ (1.670) (40) $n_2 = 1.686-1.703$ (30) $n_2 = 1.655-1.659$ (1.657-1.658) (cum) (40)		$n_2 = 1.668-1.676$ (1.670-1.671) (30) $n_2 = 1.657-1.661$ (1.658-1.659) (cum) (30)		OD3	Tama 109 (Anzu jyamu)	—
Odamaki-2 (Od-2)	$n_2 = 1.666-1.674$ (1.669-1.671) (40) $n_2 = 1.655-1.663$ (1.656-1.658) (cum) (45)	$n_2 = 1.666-1.669$	$n_2 = 1.667-1.673$ (1.670-1.671) (30) $n_2 = 1.657-1.662$ (1.659-1.660) (cum) (30)		OD2	Tama 106 (Shokupan)	Kap-6 ⁶⁾
Odamaki-1 (Od-1)	$n_2 = 1.670-1.678$ (1.673-1.674) (40) $n_2 = 1.656-1.662$ (1.658-1.659) (cum) (40)	$n_2 = 1.665-1.670$	$n_2 = 1.672-1.681$ (1.675) (30)		OD1	Tama 105 (Mame mochi)	Kap-5 ⁶⁾ (Kamikayama Pumice 5)

5) Refractive indexes are measured with RIMS86/87/2000 using the thermal immersion method following Danhara *et al.* (1992), Danhara (1993), and Kamata *et al.* (1994).6) Correlated tephra: 1) Collaborative Research Group for Yatsugatake (1988), 2) Kimura (1987), 3) Machida and Arai (2003), 4) Nakaya (1972), 5) Machida *et al.* (1974), 6) Minagawa and Machida (1971).

料棚で実施し、熱中性子照射線量の測定は標準ガラスの NBS-SRM612 および雲母を用いた。年代値の算出に用いるゼータ値は、 $ED2 = 372 \pm 5$ である。OD2 および OD6 とも通常の 30 個のジルコン結晶を対象として測定した。OD6 については測定精度を高くするため、別に 150 個のジルコン結晶を埋め込んだマウントを作成して高精度 FT 年代測定 (檀原, 1995) を行った。これらの FT 年代測定手法の詳細は、Danhara *et al.* (1991), 檀原 (1995) を参照されたい。

結 果

1. テフラの層相と岩石記載的特徴

関東平野西縁の多摩丘陵などに分布する砂礫層は、高位段丘面に相当する多摩面を形成しており、チバニアン期前半に降灰したテフラ累層である多摩ローム層に覆われている (関東ローム研究グループ, 1956 など)。多摩面は高位の多摩 I 面と低位の多摩 II 面に区分され (羽鳥・成瀬, 1957), 多摩 I 面上には多摩 I ローム層以上のテフラ累層が、多摩 II 面上にはより新しい多摩 II ローム層以上のテフラ累層が、それぞれ堆積している (関

東火山灰グループ・関東平野西縁丘陵団体研究グループ, 1998). 上鹿山第1軽石層 (Kap-1: 皆川・町田, 1971) の直下からはじまる多摩Iローム層は, 多数のテフラが挟在する積算層厚約40 mのテフラ累層であり, ゴマシオ第1軽石層 (皆川・町田, 1971; GoP1: 町田ほか, 1974) からはじまる多摩IIローム層に覆われている (関東火山灰グループ・関東平野西縁丘陵団体研究グループ, 1988) 関東火山灰グループ (1992) は OD16 下位に軽微な非整合面を認めて, 尾田蒔ローム層中のテフラを OD16 から上位のスコリアを主体とするテフラ群と, OD16 より下位の軽石を主体とするテフラ群に大別した. 関東火山灰グループ (2001) によれば, 尾田蒔ローム層は上記の多摩Iローム層に対比され, 前者がその上部に, 後者がその中部に相当する (図3).

本研究で明らかにした尾田蒔ローム層中のテフラの色調, 層相, 層厚と, 粒径1/8 ~ 1/16mmの粒子の粒子組成, 重鉱物組成, および直方輝石 (γ), 普通角閃石 (n_2), カミングトン閃石 (n_2) の屈折率を表1に示す. 表1には, 従来の研究におけるテフラ名との対応や広域テフラを含む主な年代指標テフラとの対比も示した. 本研究においては, 関東火山灰グループ (2001) とは異なり, スコリアと軽石のいずれがテフラの主体であるかという指標とテフラの鉱物組成の違いに基づき, 尾田蒔ローム層中のテフラを下位の尾田蒔テフラ群 (OD1 ~ OD17; 試料: Od-1 ~ Od-16) と上位の安立テフラ群 (Ys1 ~ Ys5; 試料: Ys-1 ~ Ys-5) の2つに大別して記載する (表1, 図3).

1) 尾田蒔テフラ群 (OD1 ~ OD17)

尾田蒔テフラ群は, 斜長石と石英, 角閃石類 (緑色普通角閃石・褐色普通角閃石・カミングトン閃石), および不透明鉱物 (磁鉄鉱・チタン鉄鉱・赤鉄鉱など) を主要鉱物とし, 微量~少量の黒雲母を伴うことで特徴づけられる. 尾田蒔テフラ群では, 白色~黄白色で軽石に富むテフラの重鉱物は角閃石類が主体であり, OD3, OD8, OD16 のように軽石に加えてスコリアや火山砂もしくは火山岩片に富むテフラでは, 不透明鉱物や褐色普通角閃石の割合が相対的に多い傾向が認められる (表1). 最下位の OD1 を除いて, 普通角閃石の屈折率 (n_2) は1.664 ~ 1.674 の範囲にあり, モードは1.670前後で類似する (図4). OD3 では, 褐色普通角閃石の屈折率は $n_2 = 1.686 \sim 1.703$ である (表1, 図4). さらに高温型石英 (β -石英) やカミングトン閃石の含有量の違いから, 尾田蒔テフラ群を下位尾田蒔テフラ群 (OD1 ~ OD4; 試料は Od-1 ~ Od-4) と上位尾田蒔テフラ群 (OD5 ~ OD17; 試料は Od-5 ~ Od-16) に細分した.

下位尾田蒔テフラ群は, 軽鉱物として石英を比較的多く含む. 石英では, 両錐形の β -石英が主体である. 重鉱物として1 ~ 5%のカミングトン閃石を含み, ごく微量の直方輝石も検出される (表1). カミングトン閃石の屈折率 (n_2) は類似し, 範囲は1.655 ~ 1.663, モードは1.657 ~ 1.659である. OD1 は, 石英の割合が斜長石の割合と同程度かより大きく, 下位尾田蒔テフラ群の中でも特徴的である (表1). 普通角閃石の屈折率は $n_2 = 1.670 \sim 1.678$ (モード: 1.673 ~ 1.674) であり, 上位の軽石質テフラに含まれる普通角閃石の屈折率 ($n_2 = 1.664 \sim 1.674$) に比べて有意に高い (図4).

上位尾田蒔テフラ群には, 黒雲母に著しく富む風化の進んだ細粒火山灰からなるテフラが挟在する (鈴木, 2000). それらは, 下位より順に OD6, OD9, OD11, OD15 の4層であり, それぞれの層厚は10 ~ 15 cm, 20 ~ 25 cm (黒雲母密集帯で上・下限はやや不明瞭), 5 ~ 8 cm (上位の火山砂が混交), 30 ~ 40 cm (黒雲母密集帯で上・下限はやや不明瞭) である (表1, 図3). 最上位の OD17 (Kkt) 直上の厚さ約20 ~ 30 cm 部分にも黒雲母の密集層準が認められるが (図3), 上・下限が不明瞭であり, 黒雲母が下位の OD15 からの混入である可能性があるため, 本研究ではテフラ層と認定しなかった.

これら4層の火山灰は細粒なジルコンの自形結晶を含有し, とりわけ OD6 は淡桃色細粒の自形結晶を多く含む. 結晶形は OD6 では長柱状が多く, 他は短柱状が多い. また, $n_2 = 1.686 \sim 1.700$ の高屈折率を示す暗緑~暗緑褐色で細粒の普通角閃石を含む (表1, 図4). 高屈折率の普通角閃石は OD6 で普通角閃石の70%以上, OD15 で同じく50%前後を占める. しかし, OD9 や OD11 では, 尾田蒔テフラ群に共通する低屈折率の普通角閃石が圧倒的に多い. 高屈折率の普通角閃石は10%未満の含有量であり, 屈折率も $n_2 = 1.684 \sim 1.696$ の範囲で, モードの上限値が低くなる傾向が認められる (表1, 図4). OD11 で多数を占める普通角閃石の屈折率 (n_2) は1.668 ~ 1.679 の範囲でばらつき, 下位尾田蒔テフラ群の OD1 の普通角閃石の屈折率分布と類似する (図4). 一方, OD6 直上の OD8 では高屈折率の普通角閃石の割合が相対的に高く, 軽石やスコリア起源の普通角閃石に加えて, OD6 に由来する普通角閃石が混交している可能性を示唆している (表1, 図4).

上位尾田蒔テフラ群では, OD13 を除いてカミングトン閃石の割合は1%以下であり, 黒雲母に富む4層のテフラを除けば β -石英もごく微量である. しかし, OD13 は β -石英を少量含み, カミングトン閃石の割合が9%と大きく, 下位尾田蒔テフラ群と類似した岩石記載的特徴を示す (表1). カミングトン閃石の屈折率も $n_2 = 1.655 \sim 1.659$ (1.657) と類似する (表1,

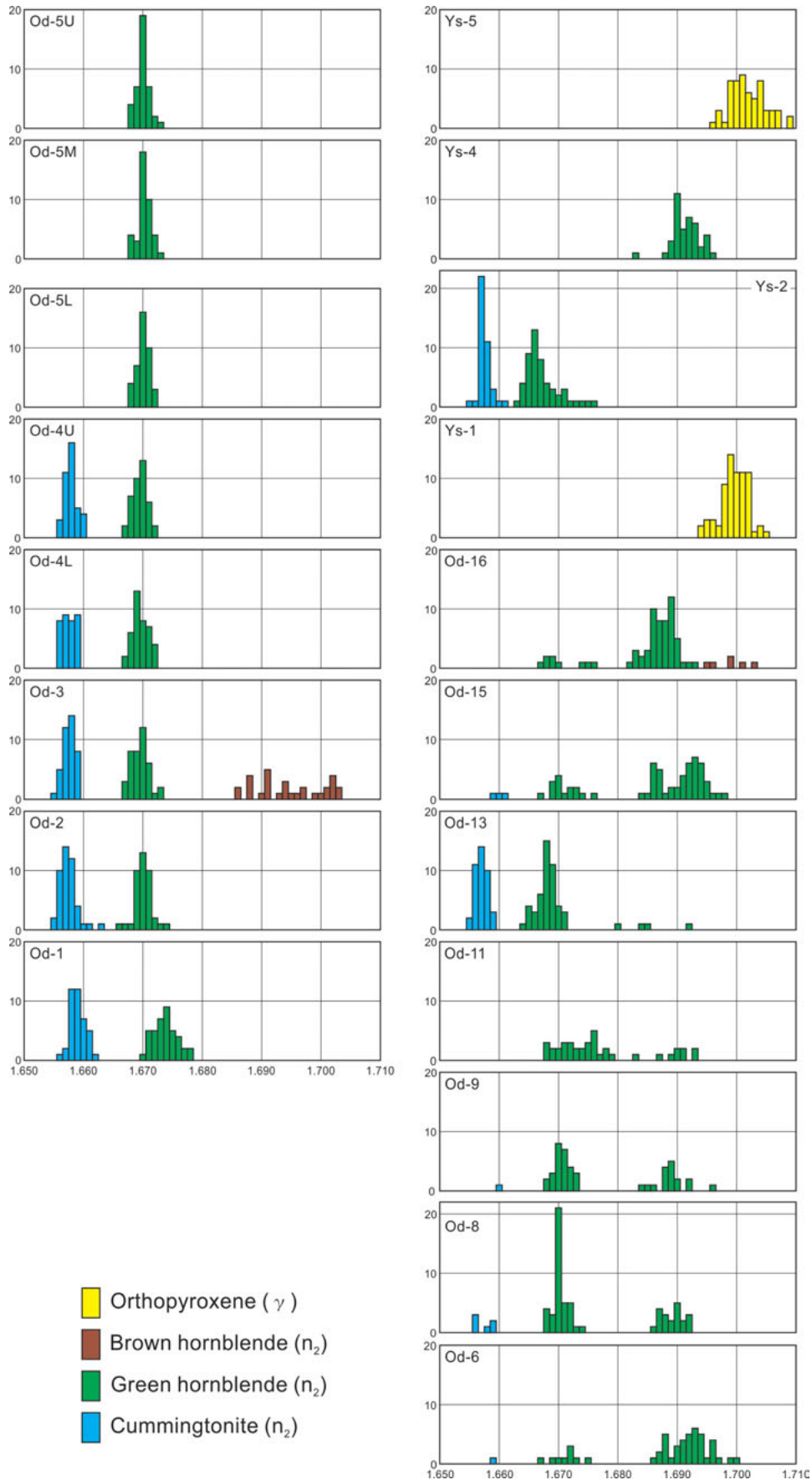


図4 尾田嵯面上のチバニアン期テフラ層の直方輝石 (γ), 普通角閃石 (n_2), カミングトン閃石 (n_2) の屈折率頻度分布.

Figure 4. Histograms of refractive indices of orthopyroxene (γ), hornblende (n_2), and cummingtonite (n_2) phenocrysts from the Chibanian tephra layers on the Odamaki surface.

表 2 尾田蒔火山灰層 (OD6/ODA) および尾田蒔第 2 軽石層 (OD2) のジルコンフィッション・トラック年代測定結果.

Table 2. Results of zircon fission-track dating of samples from the Odamaki Ash (OD6/ODA) and Odamaki-2 Pumice (OD2) beds.

Tephra and sample Name	No. of crystals	Spontaneous tracks		Induced tracks		Dosimeter			Pr(χ^2) (%)	U-content (ppm)	Age (ka) error ($\pm 1\sigma$)
		ρ_s (cm ⁻²)	N_s	ρ_i (cm ⁻²)	N_i	ρ_d ($\times 10^4$ cm ⁻²)	Nd	r			
OD6 (Od-6a)	150	3.782 $\times 10^4$	164	3.387 $\times 10^6$	14688	8.570	2633	0.208	78	310	356 \pm 29
OD6 (Od-6b)	30	3.56 $\times 10^4$	26	3.29 $\times 10^6$	2402	8.570	2633	0.343	93	310	350 \pm 70
OD2 (Od-2)	30	1.16 $\times 10^4$	10	6.98 $\times 10^5$	604	8.314	2554	0.698	70	70	510 \pm 160

- (1) Analyses are performed by the external detector method using geometry factors of 1 for $2\pi/2\pi$ (ED2).
- (2) ρ and N are the density and total number of counted fission tracks, respectively.
- (3) Ages were calculated using a dosimeter glass NBS-SRM612 and calibration factor for ED2 ($\zeta_{ED2} = 372 \pm 5$) after Danhara *et al.* (1991).
- (4) r is the correlation coefficient between ρ_s and ρ_i .
- (5) $Pr(\chi^2)$ is the probability of obtaining the χ^2 -value for ν degree of freedom ($\nu =$ number of crystals-1).
- (6) Age: $T = \ln(1 + \lambda_D \cdot \zeta \cdot \rho_d \cdot \rho_s / \rho_i) / \lambda_D$, where $\lambda_D = 1.55125 \times 10^{-10}$ / yr and ζ is a zeta value.
- (7) Error: $\sigma = T \cdot [1/\Sigma N_s + 1/\Sigma N_i + 1/\Sigma N_d + (\sigma_{zeta}/\zeta)^2]^{1/2}$ for ED2 method.
- (8) Samples are irradiated using the TRIGA MARK II nuclear reactor at St. Paul's University (Rikkyo Daigaku), Japan.

図 4). 一方, OD16 は高屈折率の普通角閃石を主体とするが, その屈折率は $n_2 = 1.682 \sim 1.696$ (1.686 \sim 1.687) であり, 直下の OD15 のそれに比べてやや低い (表 1, 図 4). さらに, 褐色 \sim 赤褐色の普通角閃石を少量含むほか, 直方輝石・単斜輝石と, カンラン石やその二次生成鉱物であるイディングサイトを微量 \sim 少量含み, 上位の安立テフラ群への漸移的な岩石記載的特徴を示す (表 1). また, ヒル石状の結晶を含む黒雲母が 20 \sim 40 % と多く含まれ, 直下の OD15 に由来する黒雲母が混交している可能性が高い.

2) 安立テフラ群 (YS1 \sim YS5)

安立テフラ群は, 暗褐色火山砂と, 黄白色軽石が散在する赤褐色スコリアの互層からなる厚さ 30 \sim 40 cm の YS1, 白色 \sim 黄白色軽石を主体として赤褐色スコリアと青灰色岩片を少量含む厚さ 10 \sim 20 cm の YS2, 白色 \sim 黄白色軽石が密集し, 赤褐色スコリアと青灰色岩片を伴う厚さ 10 \sim 20 cm の YS3 と厚さ約 30cm の YS4, 厚さ 30 \sim 90 cm と層厚の側方変化が大きく, 黒褐色 \sim 暗赤褐色のスコリアと火山砂からなる YS5 というように, 層相の異なる特徴的なテフラから構成される (表 1, 図 3).

YS1, YS3, YS4 は, 風化が進んでいて不透明鉱物の割合が 50 % 以上と高く, 単斜輝石と直方輝石, カンラン石とイディングサイト, および普通角閃石を少量含む. 最上位の YS5 は, これらの 3 層に比べると風化が進んでおらず, 25 % 前後のカンラン石, 直方輝石, 不透明鉱物を主体として, 12 % 前後の普通輝石と 2 % 程度の普通角閃石を伴う特徴的な重鉱物組成を示す (表 1). YS1 と YS5 では, 直方輝石の屈折率 (γ) はそれぞれ, 1.694 \sim 1.705 (1.698 \sim 1.703) および 1.696

\sim 1.707 (1.701 \sim 1.705) であり, YS5 が若干高い値を示す (表 1, 図 4). YS3 と YS4 には, 少量であるが暗緑 \sim 暗緑褐色で長柱状の普通角閃石が 6.5 \sim 11 % 含まれ, YS4 では $n_2 = 1.688 \sim 1.696$ (1.690) の高屈折率を示す.

一方, YS2 は 29 \sim 36 % の普通角閃石と約 50 % の不透明鉱物を主体とし, 5 % 以上のカミングトン閃石を含む (表 1). 軽鉱物中の β -石英の割合も 7 % 以上と高く, 下位尾田蒔テフラ群の軽石に富むテフラと類似した鉱物組成を有する. 普通角閃石の屈折率は $n_2 = 1.663 \sim 1.674$ (1.665 \sim 1.671) で下位尾田蒔テフラ群のそれよりやや低く, カミングトン閃石の屈折率は $n_2 = 1.655 \sim 1.661$ (1.657) で下位尾田蒔テフラ群とほぼ同じ値を示す (表 1, 図 4).

2. OD2 と OD6 (ODA) のジルコン FT 年代

OD2 から抽出したジルコン結晶から 30 個をランダムに選んで測定した結果を表 2 に示す. これら 30 粒子の測定データは, 1 粒子毎の自発および誘導 FT 数が少ないため粒子年代のバラツキは大きい. しかし, χ^2 検定には合格し, 統計上は問題点が認められない. ウラン濃度が他の大多数の粒子の 10 倍以上となる特異な結晶が 1 粒子あったが, 粒子年代値は 0.35 Ma と相対的に若く, 結晶の色調や晶癖も異質性を示さない. このため測定した 30 粒子を同一テフラ起源に属するものとみなして, 全粒子の加重平均年代として 510 \pm 160 ka (誤差は 1 σ) を算出した. 本試料では計数面積を広く取れる粗粒なジルコン結晶が多かったが, ウラン濃度が 70 ppm と小さかったため測定誤差が 31 % と大きくなった.

OD6 から抽出したジルコン結晶から, 同様に 30 粒

子を選んで測定した結果と、別途 150 粒子を選んで測定した高精度 FT 年代測定の結果を、表 2 に示す。いずれも淡桃色の均質なジルコン結晶であり、ウラン濃度も 310 ppm と比較的高かったが、若い年代試料であったため 1 粒子あたりの誘導 FT 数は少なかった。30 粒子の測定では、粒子年代のパラッキは大きい χ^2 検定に合格し統計上は問題点が認められないことから、全粒子の加重平均年代として 350 ± 70 ka を得た。ジルコン結晶 150 粒子を対象とした測定でも、粒子年代のまともは良くないものの、 χ^2 検定に合格して統計上は問題点が認められない。このため全 150 粒子を対象として、 356 ± 29 ka の加重平均年代を算出した。

考 察

1. OD1 の岩石記載的特徴と南関東地域のテフラとの対比

尾田蒔礫層を覆う最下位のテフラである OD1 は、鈹物組成や重鈹物組成が関東火山灰グループ (2001) と一致する。しかし、普通角閃石の屈折率は $n_2 = 1.670 \sim 1.678$ (1.673 \sim 1.674) であり、関東火山灰グループ (2001) の報告 ($n_2 = 1.665 \sim 1.670$) とは明らか

かに異なり、坂田ほか (2012) による $n_2 = 1.672 \sim 1.681$ (1.675) の測定結果とほぼ一致する (表 1)。カミングトン閃石の屈折率は $n_2 = 1.656 \sim 1.662$ (1.658 \sim 1.659) で、上位の OD2 のそれと範囲は同じであるがモードはやや高い。坂田ほか (2012) では、OD1 におけるカミングトン閃石の含有や屈折率は報告されていない。これらの点から、OD1 の岩石記載的特徴は、本研究により代表されるべきであると考えられる。

町田・磯田 (1983) は、OD1 を皆川・町田 (1971) および町田 (1973) の上鹿山第 5 軽石 (Kap-5) に対比した。皆川・町田 (1971) は、重鈹物組成や層位・層相が Kap-5 と程久保第 1 軽石 (Hdp-1) では良く似るものの、両者の強磁性鈹物の熱磁気特性が異なることから、Kap-5 と Hdp-1 が一連の噴火における異なる降下ユニットである可能性を示唆している (図 5)。OD1 と Kap-5 は、いずれも β -石英を多く含み、少量のカミングトン閃石を伴う点で特徴的である (皆川・町田, 1971)。Kap-5 の直上に堆積する上鹿山第 6 軽石 (Kap-6: 町田, 1973) は、皆川・町田 (1971) では程久保第 2 軽石 (Hdp-2) に対比されており、さらに層相と鈹物組成の一致から OD2 に対比されている (町田・磯田, 1983)。Hdp-2 の普通角閃石の屈折率は $n_2 = 1.667 \sim 1.671$ (1.670)、カミングトン

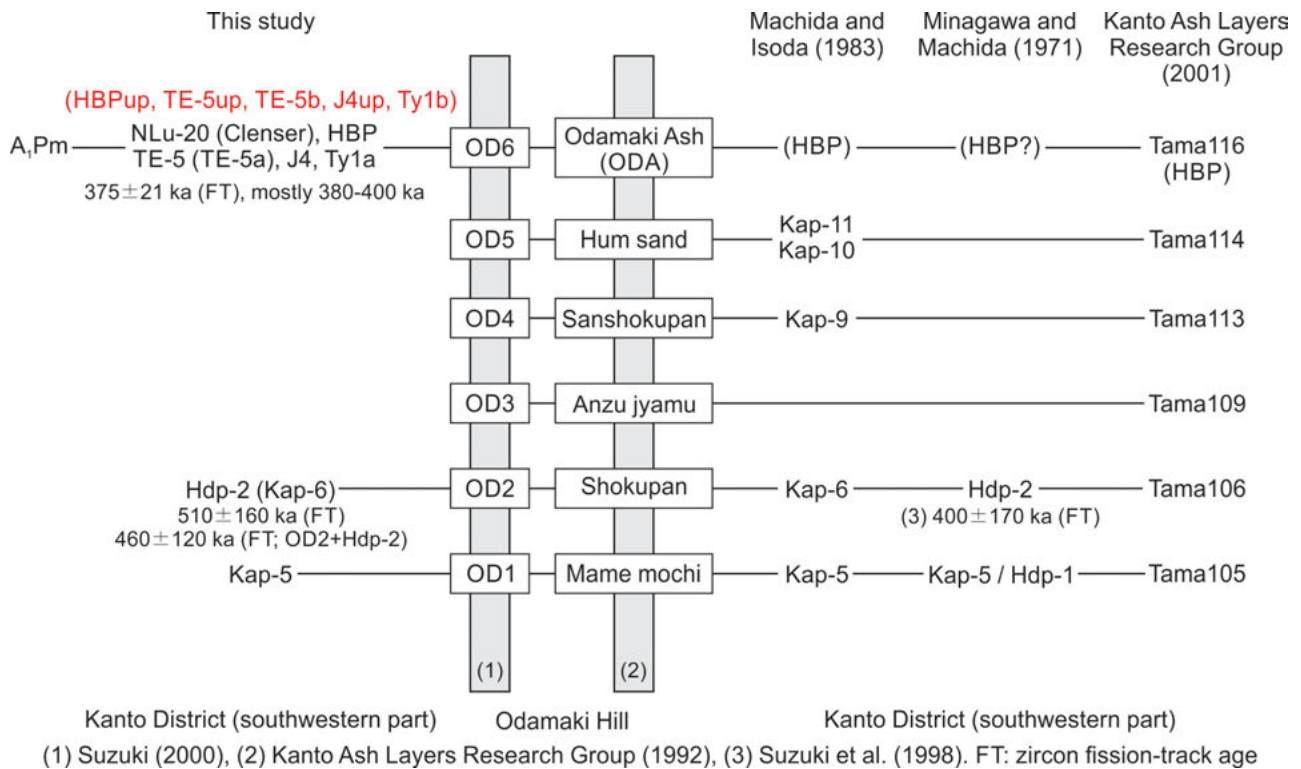


図 5 尾田蒔テフラ群と関東地方西縁部の多摩 I ローム層中のチバニアン期テフラ層との対比。

Figure 5. Correlation of the Chibanian tephra layers between the Odamaki tephra group and the Tama I Loam Formation in the western part of Kanto District, eastern Japan.

閃石の屈折率は $n_2 = 1.658 \sim 1.661$ (1.659) である (町田ほか, 1974). OD2 は, 普通角閃石で 1.666 ~ 1.674 (1.669 ~ 1.671), カミングトン閃石で 1.655 ~ 1.663 (1.656-1.658) の屈折率 (n_2) であり (表 1), 両者はよく一致することから, Hdp-2 と OD2 の対比を追認できる. このように OD1 と OD2 をセットで対比できることから, OD1 が Kap-5 に対比される可能性は高いと考えられる (図 5). さらに Kap-5 について普通角閃石やカミングトン閃石の屈折率が測定されれば,

両者の対比を確認できるであろう.

2. 黒雲母含有火山灰と大町 APm テフラ群との対比

鈴木 (2000) は, 主成分化学組成が一致するチタン磁鉄鉱を含むことから, 4 層の黒雲母含有火山灰 (OD6, OD9, OD11, および OD15) が全て APm テフラ群に対比でき, 個々のテフラの対比については広域テフラである Kkt と八ヶ岳火山起源の Yt-hop との

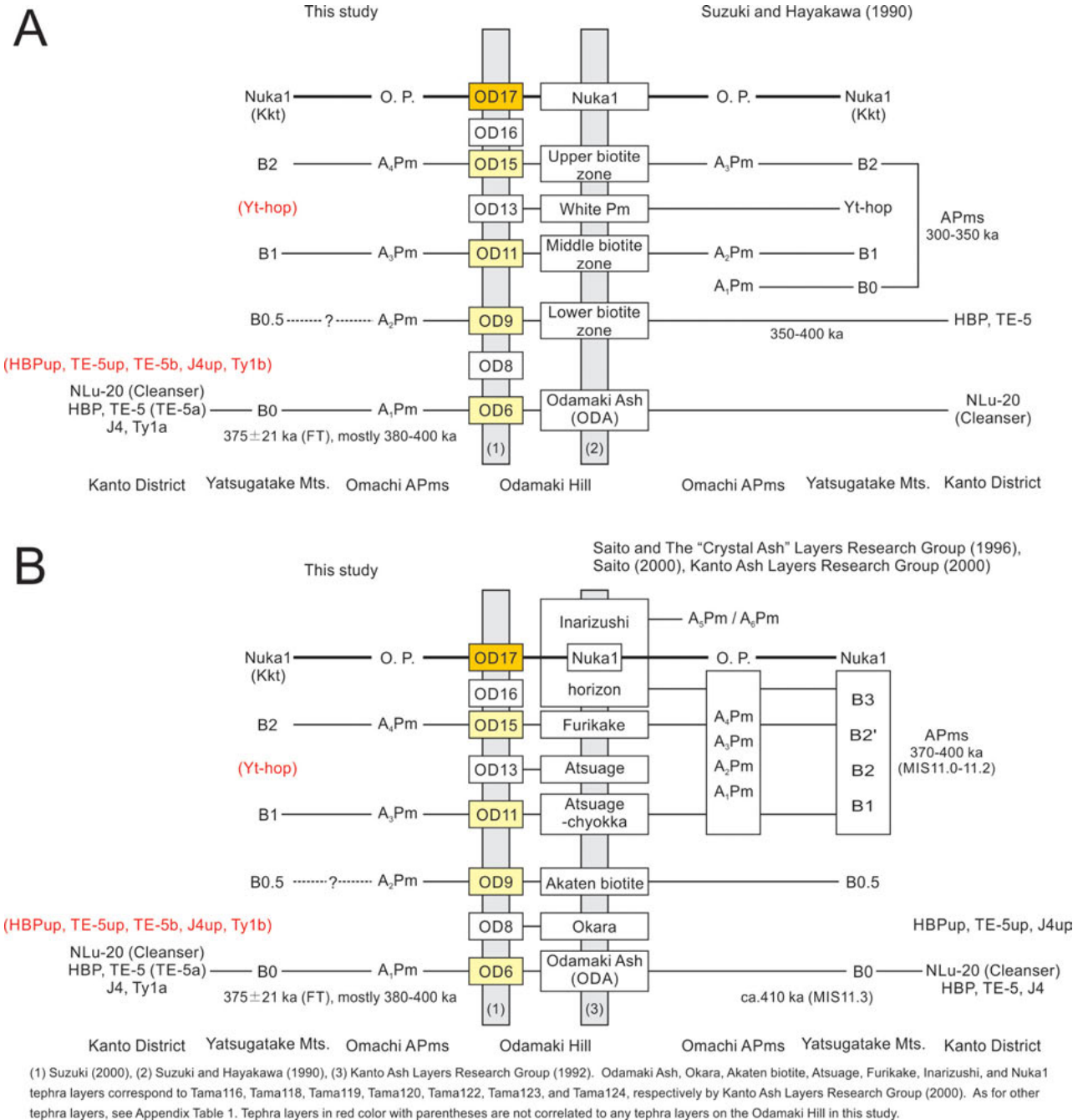


図 6 中部・関東地方のチバニアン期テフラ層と大町 APm テフラ群との対比研究の比較.

Figure 6. Comparison of the previous correlations of the Chibanian tephra layers in Chubu and Kanto districts, eastern Japan, with the Omachi APm tephra; data from this study are included.

層位関係に基づき、OD6 を HBP, TE-5 および A₁Pm に、OD9 を A₂Pm に、OD11 を A₃Pm に、OD15 を A₄Pm に、それぞれ対比している (図 6A)。しかし、OD13 と Yt-hop の対比に問題があることが指摘されている (坂田ほか, 2012) ため、本研究では鈴木・早川 (1990) や鈴木 (1992) と同様に、テフラの層相や岩石記載的特徴に基づいて個々のテフラとの対比を追認する。

4 層の黒雲母含有火山灰は、Kkt に対比される OD17 より下位に層位することから A₁Pm ~ A₄Pm に対比される (鈴木, 2000)。各テフラの層厚の相違は、模式地における APm テフラ群の層厚の相違 (中谷, 1972; 木村, 1987; 鈴木, 1992) と一致し、OD11 と A₃Pm が最も薄層である。テフラ間の火山灰土の層厚も、OD11 ~ OD15 間と A₃Pm ~ A₄Pm 間で最も薄い。これらは、いずれも APm テフラ群を特徴づける高屈折率の普通角閃石 (鈴木・早川, 1990) を含み、その含有量は OD6 と OD15 で多く、OD9 と OD11 では微量である (表 1, 図 4)。ジルコン結晶では、OD6 には淡桃色細粒の長柱状結晶が多く、他のテフラでは無色透明の短柱状結晶が多い。

鈴木 (1992) は、模式地である長野県長野市大岡中牧樺平において APm テフラ群の層相や岩石記載的特徴を詳細に記載し、A₁Pm が全体に風化が進み細粒な結晶からなること、A₃Pm では黒雲母・石英が目立つこと、A₄Pm 最下部で普通角閃石の屈折率の上限が最も高くなることなどを明らかにしている。また、A₁Pm ~ A₃Pm に含有されるジルコン結晶には特徴があり、A₂Pm と A₃Pm では無色透明かそれに近い短柱状結晶が多いのに対して、A₁Pm では淡桃色で短柱状結晶は必ずしも多くない (加藤・檀原, 1987)。上位尾田蒔テフラ群においても、OD6 は風化が進んで粘土化した火山灰であり、黒雲母や石英、ジルコンなどの細粒で均質な結晶に富み、ジルコン結晶は淡桃色で長柱状を主体とする。OD6 と OD11 は黒雲母が多く、OD15 は $n_2 = 1.692 \sim 1.694$ にモードを持つ高屈折率の普通角閃石を多く含む (表 1, 図 4)。このように、模式地に風成堆積する APm テフラ群の特徴は尾田蒔テフラ群においても認識できる。したがって、OD6 と A₁Pm, OD9 と A₂Pm, OD11 と A₃Pm, OD15 と A₄Pm が、それぞれ対比される確度は高いと考えられる (図 6)。

なお、OD17 (Kkt) 直上には黒雲母密集層準が確認され、関東火山灰グループ (1992) や斉藤・クリスタル・アッシュ (大町 APm, BP) 研究会 (1996) の「いなりずし層準」(図 6B) に相当する。本層準は Kkt 上位に層位し、A₅Pm もしくは A₆Pm (矢口ほか, 1992)、あるいは両テフラの混交層に対比される可能性があるが、テフラ層準の確認や岩石記載的特徴の分析を含めて、

その対比は今後の課題としたい。

3. Yt-hop との対比

APm テフラ群との対比に基づけば、OD13 は A₃Pm の直上、A₄Pm の下位に層位する。鈴木・早川 (1990) や鈴木 (2000) は OD13 を Yt-hop に対比した (図 6A)。八ヶ岳団体研究グループ (1988) によれば、Yt-hop は不透明鉱物と単斜輝石、直方輝石が多く、角閃石類とジルコンを含む。一方、OD13 は普通角閃石が 70 % 以上と多く、次いで 20 % 前後の不透明鉱物と 9 % 程度のカミングトン閃石を含み (表 1)、重鉱物組成が明らかに異なる。風化により輝石類が消失した可能性を完全には否定できないが、坂田ほか (2012) が指摘するように、重鉱物組成からは OD13 を Yt-hop に対比することはむずかしい。

八ヶ岳東麓に分布する B₀ テフラ (八ヶ岳団体研究グループ, 1988) は OD6 に対比され (斉藤・クリスタル・アッシュ (大町 APm, BP) 研究会, 1996)、北関東に分布するテフラ、クレンザー (中村・高崎地学愛好会, 1989) も OD6 に対比可能とされている (鈴木・早川, 1990)。このことから B₀ とクレンザーは、ともに A₁Pm に対比可能である (図 6B)。B₀ の上位には、B₁, B₂, B₃ (飯島・塩川グループ, 1967) という黒雲母と石英に富むテフラ (クリスタル・アッシュ) が層位し、B₁ 直上に Yt-hop が堆積する (八ヶ岳団体研究グループ, 1988)。鈴木・早川 (1990) は、B₀ を A₁Pm, B₁ を A₂Pm, B₂ を A₃Pm に、それぞれ対比した (図 6A)。しかし、上記の対比によれば B₁ と B₂ は OD9 と OD11 にそれぞれ対比されることとなり、B₁ ~ B₂ (OD9 ~ OD11) 間に堆積する Yt-hop が、B₂ (OD11) より上位の OD13 に対比されて層序の斜交が生じる。この点からも、OD13 を Yt-hop に対比することはむずかしい。鈴木 (2000) は、八ヶ岳東麓において Yt-hop が A₃Pm 直上に堆積し、Yt-hop ~ Kkt 間には A₄Pm のみが堆積するとして OD6 ~ OD15 と A₁Pm ~ A₄Pm の対比を考え、層序の斜交関係を解決している (図 6C)。しかし、八ヶ岳東麓における層序の詳細や B₀ ~ B₃ と APm テフラ群との関係は明らかにされていない。

斉藤 (2000) は、TE-5 や HBP と、それらに対比可能な下総層群地蔵堂層中の J4 テフラ (徳橋・遠藤, 1984) の直上に普通角閃石の多い軽石質テフラ (それぞれ TE-5up, HBPup, J4up と新称) が堆積することを示し、TE-5, HBP, J4 に低屈折率の普通角閃石が含まれるとする岩石記載的特徴 (町田ほか, 1974) は、上位の軽石質テフラが混入した結果、それらに含まれる普通角閃石の屈折率が測定、記載されたことによるとした。また B₀, クレンザー, OD6 の岩石記載的特徴

は、これらが上記の軽石質テフラの分布域外にあると考えることで説明でき、B₀, OD6, HBP, TE-5, および J4 が APm テフラ群の下位に層位する同一のテフラであり、酸素同位体ステージ (MIS) 11 のピーク直後に降灰した広域テフラであると考えた (図 6B)。さらに、B₁ ~ B₃ などのクリスタル・アッシュを、APm テフラ群に対比した。齊藤・クリスタル・アッシュ (大町 APm, BP) 研究会 (1996) は、B₀ ~ B₁ 間に新たにクリスタル・アッシュを見出し、B_{0.5} と命名して OD9 に対比している (図 6B)。

町田・新井 (2003) も、TE-5 を下位の TE-5a と

上位の TE-5b に区分し、TE-5a が A₁Pm と A₂Pm (B₀ と B₁) の混交層に対比され、TE-5b が Yt-hop および尾田蒔丘陵で OD6 の約 50 cm 上位にある軽石層 (OD8) に対比されると述べている (図 6D)。また、B₂ を A₃Pm に対比している。一方、中里・檀原 (2005) は、火山ガラスの主成分組成の相違から TE-5b (TE-5up) を Yt-hop に対比できないことを明らかにし、TE-5b の給源が黒富士火山である可能性を指摘している。

尾田蒔テフラ群では、カミングトン閃石や高屈折率の普通角閃石が下位層準のテフラからの混入であり、さらに風化により輝石類の大半が消失したと考えれば、

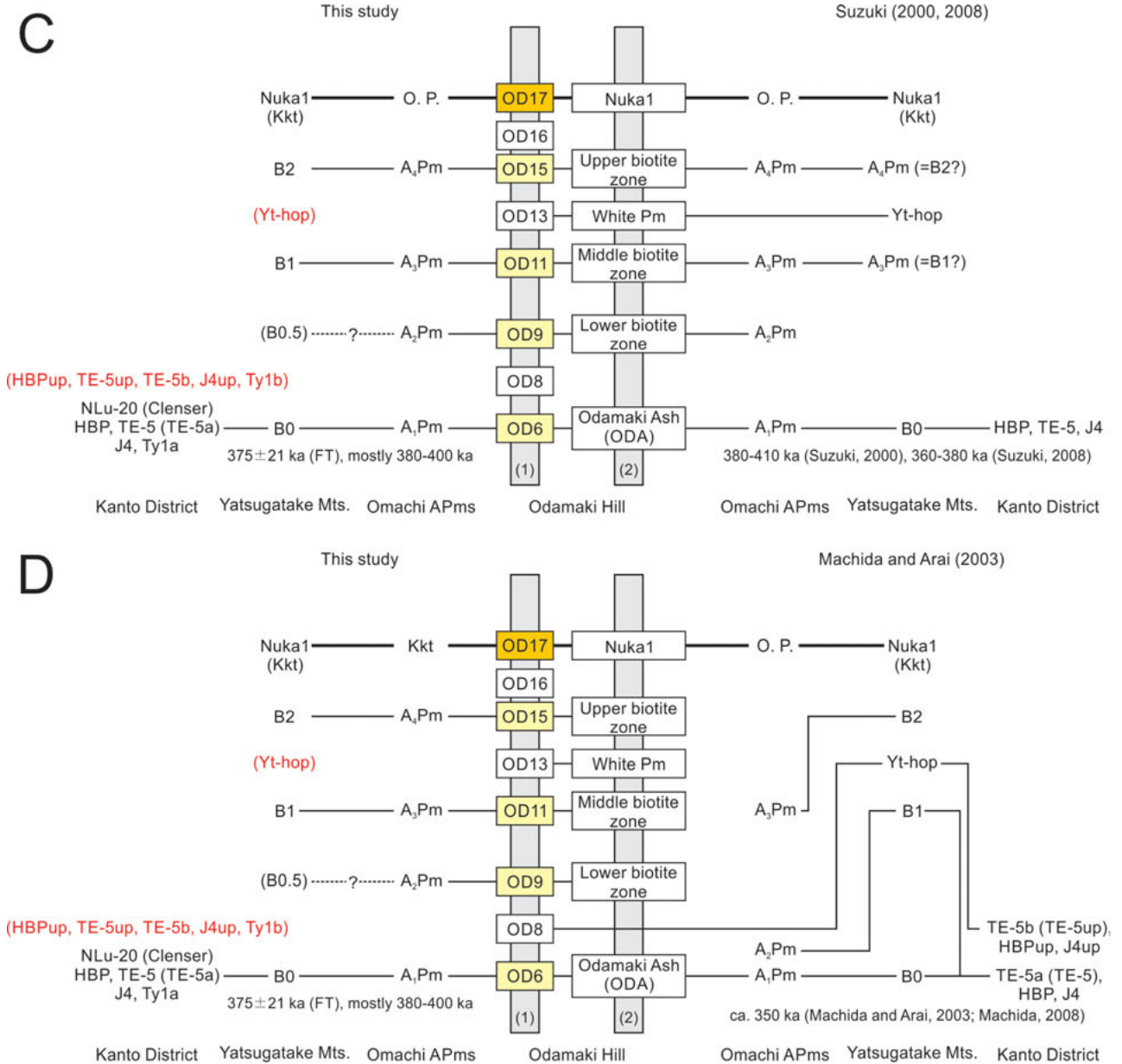


図 6 (続き) 中部・関東地方のチバニアン期テフラ層と大町 APm テフラ群との対比研究の比較。

Figure 6 (continued). Comparison of the previous correlations of the Chibanian tephra layers in Chubu and Kanto districts, eastern Japan, with the Omachi APm tephra; data from this study are included.

OD8 の岩石記載的特徴 (表 1) は必ずしも OD8 と Yt-hop との対比を否定するものではない。しかし、本研究で追認した A₂Pm (B_{0.5} ?) に対比される OD9 や A₃Pm (B₁) に対比される OD11 との層位の矛盾は解決されないままであり (図 6D), OD8 を Yt-hop に対比することはむずかしい。したがって、現状では尾田蒔テフラ群に Yt-hop に対比可能なテフラが認められないと考えることが妥当である。ただし、OD11 では A₃Pm 起源とは異なる低屈折率の普通角閃石が優占し、その屈折率は $n_2 = 1.668 \sim 1.679$ (1.676) と、OD1 を除く他のテフラに比べてやや高い値を示す (図 4)。このような普通角閃石は直上の火山砂層 (OD12) から混交した可能性が高いと判断したが、TE-5 (TE-5a と TE-5b) のように、Yt-hop の薄層が混交している可能性があるのかもしれない。

4. A₁Pm の噴出年代

A₁Pm は、OD6 (ODA), HBP, TE-5 (TE-5a), および J4 の各テフラに対比された (図 6)。表 3 には、本研究による OD6 の FT 年代に加えて、ODA, HBP, TE-5, J4, および犬吠層群最上部に挟在する Ty1a テフラ (中里・佐藤, 1998) から得られた FT 年代を示した。これらの FT 年代は、全て本研究と同一の手法と機関により測定され、全てゼータ較正が施されている。Ty1a は町田・新井 (2003) の TE-5a に対比されており (中里・佐藤, 1998), ジルコン結晶 133 粒子を対象とした高精度 FT 年代が得られている (中里・檀原, 2005)。

OD6 (本研究) と ODA (町田, 1996) に関する 3 つの FT 年代は、尾田蒔丘陵の同一テフラから得られており、誤差範囲 (1 σ) 内で一致する。3 者の加重平均年代は 364 ± 24 ka (誤差 1 σ , 粒子数 210 個), ジルコン結晶の平均 U 濃度は 313 ppm である。HBP, J4, Ty1a も誤差範囲 (1 σ) で一致する FT 年代が得られている (表 3)。それらの加重平均年代は 400 ± 38 ka (誤差 1 σ , 粒子数 193 個) であり、中央値は古い OD6 の FT 年代とは誤差範囲内で一致し、ジルコン結晶の平均 U 濃度 (313 ppm) も一致することから、テフラ対比とは整合的である。そこで、これら全ての加重平均年代を求めると、遠隔地の A₁Pm について 375 ± 21 ka (誤差 1 σ , 粒子数 403 個, 平均 U 濃度 313 ppm) の FT 年代が得られる (表 3)。これは、給源近くの A₁Pm について同一の手法、機関で測定された 2 つの FT 年代の加重平均 (398 ± 36 ka; 誤差 1 σ , 粒子数 138 個, 平均 U 濃度 290 ppm) や、 390 ± 35 ka (粒子数 150 個) という別手法で得られた FT 年代 (伊藤, 1999) とも誤差範囲内で一致する (表 3)。FT 法とは異なる 388 ± 50 ka の RITL 年代 (Tsukamoto

et al., 2007) やジルコン結晶を用いた 375 ± 13 ka の (U-Th) / He 年代 (Ito and Danišik, 2020) (誤差はいずれも 2 σ) とも、誤差範囲内で良く一致する。したがって、A₁Pm の噴出年代は、鈴木 (2000) や中里・檀原 (2005) が指摘するように 350 ~ 400 ka の範囲に入る可能性が高いと考えられる。

放射年代とは別に、A₁Pm の噴出年代には以下のような年代制約が指摘されている。1) TE-5a は多摩 T-e 面 (町田ほか, 1974) の離水後に降下したテフラであり、多摩 T-e 面は MIS11 の海進期に形成された (町田・新井, 2003); 2) 犬吠層群中では Ty1a の直下に石灰質ナンノ化石 *Pseudoemilliana lacunose* の絶滅層準 (410 ka : 高山ほか, 1995) がある (中里・檀原, 2005); 3) 地蔵堂層中部の J3 テフラ直上にある地蔵堂化石帯 (坂倉, 1935) は亜熱帯的な貝化石群集から構成され、その比較的狭い範囲で暖流系種の有孔虫が多産するピークが認められる。J4 は本化石帯直上で、海域の浅化が進み、寒冷系種が増え始める層準に挟在する (徳橋・遠藤, 1984); 4) この暖流系種の有孔虫が多産するピークは MIS11.3 に対比されている (町田, 2008); 5) 八ヶ岳北麓~東麓に分布する南佐久層群最下部層では植物遺体や花粉化石から山地帯上部の気候が推定されており (伊東ほか, 1988), B₂ (A₃Pm) ないし B₃ (A₄Pm) もしくは A₅Pm) の降灰層準で気候が寒冷化した可能性が高いとされる (近藤・八ヶ岳団体研究グループ, 1992); 6) 上総層群藪層中の Yb1 テフラは A₄Pm に対比され、その層位は Kkt 下位の MIS10.2 付近と推定される (町田・新井, 2003; 鈴木, 2003); 7) 関東地方以西の日本列島では、MIS11 の最暖期 (MIS11.3) に相当する中部更新統は、アカガシ亜属の花粉化石が多産することで特徴づけられる (本郷, 2009; 楡井, 2017 など)。関東平野中央部で掘削された GS-KS-1 コアの花粉化石群集 (中澤ほか, 2009) では、Ty1a (A₁Pm) 層準はブナ属が優占し、アカガシ亜属の産出は 3% 未満と低率であり、Ty1a が MIS11.3 よりやや遅れて降灰したことが示唆される。

これらの年代制約から、A₁Pm は MIS11.3 のやや後で、MIS11 中に噴出した可能性が最も高いと考えられる。MIS11.3 や MIS11/10 の天文層序年代は 405 ka および 375 ka とされている (Lisiecki and Raymo, 2005) ので、年代制約から推定される A₁Pm の噴出年代は 380 ~ 400 ka の範囲とみられる。本研究で示した 375 ± 21 ka という A₁Pm の高精度 FT 年代はこの年代範囲とも重なり、整合的である。鈴木 (2000) は、OD6 が A₁Pm, HBP, TE-5, J4 に対比できるとし、地蔵堂層中の J4 の層位および地蔵堂層が MIS11 の間氷期に堆積した海成層であること (町田ほか, 1980 など) から、その噴出年代は 380 ~ 410 ka であろうと

表 3 尾田蒔火山灰層 (OD6/ODA) とそれに対比される A₁Pm などのテフラ層, および尾田蒔第 2 軽石層 (OD2) とそれに対比されるテフラ層のゼータ較正を用いたジルコンフィッション・トラック年代.

Table 3. Zircon fission-track ages based on zeta calibration for the Odamaki Ash Bed (OD6/ODA) and tephra layers correlated with it, such as A₁Pm, and those for the Odamaki-2 Pumice Bed (OD2) and correlated tephra.

Tephra name	Age (ka)	Error (1σ)	No. of crystals	U-content (ppm)	Reference
OD6 (Od-6a)	350	70	30	310	This study
OD6 (Od-6b)	356	29	150	310	This study
Weighted mean	355	27	180	310	
ODA	410	60	30	320	Machida (1996)
Weighted mean					
OD6 / ODA	364	24	210	313	
HBP (= TE-5a)	430	90	30	290	Suzuki et al. (1998)
J4 (= TE-5a)	350	80	30	340	Danhara et al. (1999)
Ty1a (= TE-5a)	410	50	133	310	Nakazato and Danhara (2005)
Weighted mean					
HBP = TE-5a	400	38	193	313	
Weighted mean					
OD6 (ODA) = HBP = TE-5a	375	21	403	313	
A ₁ Pm	470	80	30	280	Suzuki et al. (1998)
A ₁ Pm	380	40	108	300	Danhara et al. (1999)
Weighted mean					
A₁Pm	398	36	138	290	
A ₁ Pm	390	35	150	-	Ito (1999)
A ₂ Pm	330	40	108	300	Danhara et al. (1999)
A ₃ Pm	370	30	108	310	Danhara et al. (1999)
OD11 (= A ₃ Pm)	380	70	30	320	Machida (1999)
OD2 (Od-2)	510	160	30	70	This study
HdP-2	400	170	29	40	Suzuki et al. (1998)
Weighted mean					
OD2 = HdP-2	460	120	59	55	

All fission-track ages except for the age of A₁Pm by Ito (1999) were obtained using the same method and procedure by Kyoto fission-Track Co. Ltd.

述べた。その後、町田・新井 (2003) や町田 (2008) は TE-5 (A₁Pm) の噴出年代を 350 ~ 360 ka, 鈴木 (2008) は OD6 (A₁Pm) の噴出年代を 360 ~ 380 ka としている。本研究の検討からは、前 2 者はやや若すぎる推定年代であり、鈴木 (2000, 2008) の推定噴出年代が妥当であったと考えられる。

5. 尾田蒔面の形成年代

鈴木 (2000) は A₁Pm ~ Kkt 間の火山灰土層の堆積速度を一定と仮定し、それを外捜して OD1 や OD2 の噴出年代を 45 ~ 50 万年前であると推定した。これに基づいて鈴木 (2008) は、尾田蒔面の形成 (離水) 年代を約 50 万年前の MIS13/12 境界付近であるとした。

これに対して高木ほか (2000) は、HBP について得られていた 340 ~ 520 ka の FT 年代 (鈴木ほか, 1998 など) から、尾田蒔面は MIS12 の氷期に堆積した砂礫層が MIS11 の間氷期に下刻されて形成された気候段丘であり、その離水期を MIS12 末であると考えた。本研究による OD2 とそれに対比される HdP-2 の FT 年代 (鈴木ほか, 1998) の加重平均年代も 460 ± 120 ka と誤差が大きく (表 3)、テフラの FT 年代だけから尾田蒔面の形成年代を限定することはむずかしい。しかし、Kkt (OD17) の年代を 330 ~ 340 ka (町田・新井, 2003), A₁Pm (OD6) の噴出年代を前述のように 380 ~ 400 ka とし鈴木 (2000) と同様に OD2 の噴出年代を見積ると 420 ~ 480 ka となり、OD2 の加重平均 FT 年代と良く一致する。OD5 直下から OD4

直下までの層準では火山灰土層の粘土化とクラック帯の発達が著しく（関東火山灰グループ, 1992）、この層準が MIS11 の最温暖期に対比され、さらに下位の OD2 や OD1 は MIS12 に噴出したと推定される。そして、尾田蒔礫層は OD1 降灰時までには堆積をほぼ終えていることから、尾田蒔面は MIS12 中に離水していた可能性が高いと考えられる。

秩父盆地東端の曾根坂付近には風化の進んだ火山灰質の粘土・シルト層と砂礫層の互層が分布し、尾田蒔礫層と同時異相の堆積物とされている（町田・井口, 1952；町田・磯田, 1983；清水・堀口, 1994 など）。この粘土・シルト層からはトウヨウゾウに対比される可能性が高い旧ゾウ化石が産出した（藤本, 1936）。トウヨウゾウは、約 63 万年前の MIS16 の海面低下期に朝鮮半島との陸橋を通じて日本列島に移入し、約 57 万年前の MIS15.1 には絶滅したと考えられている（小西・吉川, 1999）。したがって、旧ゾウ化石とトウヨウゾウとの対比が確実であれば、尾田蒔礫層の堆積期は MIS15 の約 60 万年前まで遡ると考えられる。尾田蒔礫層は、秩父盆地のほぼ全体に広がる複合扇状地を形成していたと推定されており（町田・磯田, 1983）、中・低位の河成段丘構成層に比べて礫層内の層相変化が著しく、堆積時の河川環境が大きく変動していたと考えられている（町田・井口, 1952）。このような特徴は、尾田蒔面が MIS12 という単一の氷期に形成された気候段丘ではなく、より長期にわたり形成された河成面であることを示唆している。以上のことから、尾田蒔面は約 50 ～ 60 万年前の MIS13 ～ MIS15 に形成され、約 42 ～ 48 万年前の MIS12 にはすでに下刻され、段丘化していたと考えられる。

まとめ

関東平野西部、秩父盆地の尾田蒔ローム層に挟在する 17 層のテフラの粒子組成・重鉍物組成、直方輝石・普通角閃石・カミングトン閃石の屈折率などの岩石記載的特徴を明らかにして OD1 テフラの岩石記載的特徴を確立し、OD1, 4 層の黒雲母含有火山灰（OD6, OD9, OD11, および OD15）、および OD13 のテフラ対比を再検討した。また、OD2 や OD6 のゼータ校正されたジルコン FT 年代測定を行い、その結果と関東地方で A₁Pm に対比されたテフラについて同一の手法、機関で測定された FT 年代を総合して、A₁Pm の噴出年代を推定した。さらに OD2 の FT 年代などを加味して、高位段丘である尾田蒔面の形成年代を考察した。これらの結果は以下のようにまとめられる。

1) OD1 は β - 石英やカミングトン閃石を相対的に多く含み、普通角閃石の屈折率が OD2 など他の軽

石質テフラよりもやや高く特徴的である。そして、このような岩石記載的特徴の一致から、OD1 は Kap-5 テフラに対比可能である。

- 2) 岩石記載的特徴の一致や Kkt との層位関係などから、OD6, OD9, OD11, OD15 の 4 層が大町 APm テフラ群の A₁Pm, A₂Pm, A₃Pm, A₄Pm にそれぞれ対比できることが確認された。一方、重鉍物組成や APm テフラ群との層序関係の違いから、OD11 の上位に堆積する OD13 を Yt-hop に対比することはむずかしい。
- 3) OD2 から 510 ± 160 ka（誤差 1 σ , 平均 U 濃度 70 ppm）、OD6 から 350 ± 70 ka および 356 ± 29 ka（いずれも誤差 1 σ , 平均 U 濃度 310 ppm）のジルコン FT 年代が得られた。
- 4) これら OD6 のジルコン FT 年代や、これまでに同一の手法、機関により得られている関東地方で A₁Pm に対比されたテフラのジルコン FT 年代を総合し、A₁Pm について 375 ± 21 ka（誤差 1 σ , 粒子数 403 個, 平均 U 濃度 313 ppm）の加重平均 FT 年代を得た。
- 5) この FT 年代は、酸素同位体比層序上の位置や生物指標などによる年代制約を考慮した A₁Pm の推定噴出年代である 380 ～ 400 ka と整合的である。
- 6) 高位段丘・尾田蒔面は約 50 ～ 60 万年前の MIS13 ～ MIS15 に形成され、MIS12 の約 42 ～ 48 万年前にはすでに離水（段丘化）していたと推定される。

本研究では、層相・層序や岩石記載的特徴を総合的に解釈し、4 層の黒雲母含有火山灰と大町 APm テフラ群の個々のテフラとの対比や、Yt-hop との対比を再検討した。しかし、重鉍物組成や普通角閃石の屈折率などの岩石記載的特徴は各テフラで類似することから、チタン磁鉄鉍（鈴木, 2000）に加えて普通角閃石の主成分化学組成を分析する（例えば、竹下, 2004；竹下ほか, 2005；Kotaki et al., 2011）など、テフラ対比の確度を高めるための新たな手法を導入する必要がある。

尾田蒔丘陵のテフラ露頭では、大町 APm テフラ群だけでなく、八ヶ岳火山や黒富士火山から噴出したチバニアン期テフラを数多く観察できる。これらのテフラの噴出期は MIS8 ～ MIS12 の長期にわたり、MIS9 や MIS11 の間氷期層準と火山灰土の土壌化との関係を検討するうえでも重要である。尾田蒔丘陵はジオパーク秩父のジオサイトの 1 つとされており、丘陵上にあるテフラ露頭が今後も保存・活用されていくことを期待する。

謝 辞

本稿は二名の査読者の適切な指摘により改善された。本研究は、筆頭著者の加藤茂弘が東京大学地理学教室に

在学中から細々と継続してきた研究成果の一部である。同教室在学中には現地やゼミナール等で阪口 豊, 大森博雄, 米倉伸之ほかの指導教官の先生方, 先輩, 同輩, 後輩諸氏から議論とご教示を頂いた。とりわけ渡辺満久, 奥村晃史, 鈴木康弘, 高田将司の先輩諸氏からは研究内容のみならず, 研究生活を続けるうえでも大切なご示唆を頂き, 激励頂いた。2021年3月末の定年退職の区切りを終えて, これらの方々に厚くお礼申し上げます。

和文要旨

秩父盆地の尾田蒔面上に堆積するチバニアン期テフラ群から17層のテフラ試料を採取し, 粒子組成・重鉱物組成や直方輝石・角閃石類の斑晶鉱物の屈折率を分析してテフラの対比を再検討した。最下位のOD1テフラは, これまでの記載と異なる岩石記載の特徴を示したが, 関東地方西部のKap-5テフラと対比可能であった。4層の黒雲母に富む細粒火山灰(OD6, OD9, OD11, およびOD15)は大町APmテフラ群のA₁Pm~A₄Pmにそれぞれ対比されたが, ハヶ岳火山東麓のYt-hopテフラに対比可能なテフラは見出せなかった。またOD2では510 ± 160 kaの, OD6では350 ± 70 kaおよび356 ± 29 kaの, ジルコン結晶を用いたフィッション・トラック(FT)年代(誤差は各1σ)を得た。さらにこれまで同一の手法, 機関で実施された全てのFT年代を総合し, 関東地方に分布するA₁Pmの加重平均FT年代として375 ± 21 kaを求めた。これらOD2やA₁Pm(OD6)のFT年代などから, 尾田蒔面は約500~600 kaに形成されたと推定される。

引用文献

檀原 徹(1993) 温度変化型屈折率測定法。日本第四紀学会(編), 第四紀試料分析法2。研究対象別分析法。東京大学出版会, 東京, pp. 149-158。

檀原 徹(1995) 第四紀テフラの高精度FT年代測定—ジルコンとガラスを用いた測定法の確立に向けて—。第四紀研究, **34**, 225-241。

檀原 徹・岩野英樹・吉岡 哲(1999) ゼータ較正に基づいた外部ディテクター法, 再エッチ法による大町テフラ群のジルコンFT年代の再検討—ゼータ値決定と既報値の利用に関する提唱—。フィッション・トラック ニュースレター, **12**, 1-15。

Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Journal of Geological Society of Japan*, **97**, 977-985。

Danhara, T., Yamashita, T., Iwano, H. and Kasuya, M. (1992) An improved system for measuring refractive index using the thermal immersion method.

Quaternary International, **13/14**, 89-91。

原山 智(1987) 更新世中期における, 広域テフラ—火砕流堆積物—給源火道対比の一例—いわゆる“クリスタル・アッシュ”の給源。1987年度秋季火山学会大会予稿集, 105。

羽鳥謙三・寿円晋吾(1958) 関東盆地西縁の第四紀地史(II)。地質学雑誌, **64**, 232-249。

羽鳥謙三・成瀬 洋(1957) 関東西部の古期ロームの分布と鉱物組成(演旨)。地質学雑誌, **63**, 432。

平賀章二・市川米太(1988) 熱ルミネッセンス法による火山灰の年代測定—日本地質学会第93年会シンポジウム『100万年より新しい試料の地質年代測定』ブライントテスト用パミスタフを試料として—。地質学論集, **29**, 207-216。

本郷美佐緒(2009) 大阪堆積盆地における中部更新統の花粉生層序と古環境変遷。地質学雑誌, **115**, 64-79。

藤本 治 義(1936) *Stegodon orientalis shodoensis* MATSUMOTO?の新産地。地質学雑誌, **43**, 45-46。

Hurfurd, A. J. (1990a) Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track Working Group of the I. U. G. S. Subcommittee of Geochronology. *Chemical Geology*, **80**, 171-178。

Hurfurd, A. J. (1990b) International Union of Biological Sciences Subcommittee on Geochronology recommendation for the standardization of fission track dating calibration and data reporting. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **17**, 233-236。

Hurfurd, A. J. and Green, P. F. (1983) The zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geoscience*, **1**, 285-317。

飯島南海夫・塩川グループ(1967) 東北信州におけるローム層の問題点。第四紀, **11**, 39-49。

今井 登・下川浩一(1990) 第四紀火山灰のESR年代測定。月刊地球, **12**, 14-19。

伊藤久敏(1999) FT STAgeシステムを用いたテフラ年代測定法。フィッション・トラック ニュースレター, **12**, 39-42。

Ito, H. and Danišik, M. (2020) Dating late Quaternary events by the combined U-Pb LA-ICP-MS and (U-Th)/He dating of zircon: A case study on Omachi Tephra suite (central Japan). *Terra Nova*, **32**, 134-140。

伊東徳治・朝田二郎・中島豊志・西尾 顕(1988) ハヶ岳地域の鮮新統および更新統から産出した植物遺体・花粉化石。地団研専報, **34**, 191-203。

岩野英樹・檀原 徹(1997) 高品位モニターを用いたフィッション・トラック年代測定システムのゼータ較正とシステム間比較。フィッション・トラック ニュースレター, **10**, 11-20。

Iwano, H. and Danhara, T. (1998) A re-investigation of the geometry factors for fission-track dating of apatite, sphene and zircon. In Van den Haute, P. and De Corte, F. (eds.), *Advances in Fission-Track Geochronology*. Kluwer Academic Publishers, New York, pp. 47-66。

鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・星住英夫・林田 明・竹村恵二(1994) 大阪層群アズキ火山灰および上総層群Ku6c火山灰と中部九州の今市火砕流堆積物との対比—猪牟田カルデラから噴出したco-ignimbrite ash—。地質学雑誌, **100**, 848-866。

関東火山灰グループ(1992) 秩父盆地の多摩ローム層の鉱物組成。

- 第四紀, **25**, 79–82.
- 関東火山灰グループ (2001) 多摩 I ローム層の鉱物組成とテフラの対比. 地球科学, **55**, 23–36.
- 関東火山灰グループ・関東平野西縁丘陵団体研究グループ (1998) 関東平野西縁丘陵における多摩 I ローム層の層序と広域テフラ「C1」の発見. 地球科学, **52**, 498–501.
- 関東ローム研究グループ (1956) 関東ロームの諸問題. 地質学雑誌, **62**, 302–316.
- 加藤茂弘・大森繁雄・松田高明・山下 透・檀原 徹・先山 徹・半田久美子・佐藤裕司・古谷 裕・小林文夫 (2001) 兵庫県北西部・鉢伏山周辺地域の第四紀後期テフラ層序—大山火山起源のテフラを中心として—. 人と自然, **12**, 1–12.
- 加藤碩一・檀原 徹 (1987) 大町テフラ層下部層に挟まれるクリスタル・アッシュのフィッシュン・トラック年代. 地質調査所月報, **38**, 265–280.
- 木村純一 (1987) 長野県聖山北麓の更新統一中部から上部更新統一. 地質学雑誌, **93**, 245–257.
- 近藤洋一・ハヶ岳団体研究グループ (1992) ハヶ岳山麓にみられる「クリスタル・アッシュ」層準の中部更新統一. 第四紀, **25**, 37–46.
- 小西省吾・吉川周作 (1999) トウヨウゾウ・ナウマンゾウの日本列島への移入時期と陸橋形成. 地球科学, **53**, 125–134.
- Kotaki, A., Katoh, S. and Kitani, K. (2011) Correlation of Middle Pleistocene crystal-rich tephra layers from Daisen Volcano, southwest Japan, based on the chemical composition and refractive index of mafic minerals. *Quaternary International*, **246**, 105–117.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E. (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003.
- 町田 洋 (2008) 大磯丘陵から下総台地までの第四系. 日本地質学会 (編), 日本地方地質誌 3. 関東地方. 朝倉書店, 東京, pp. 299–315.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 東京大学出版会, 東京, vii + 336 p.
- 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫 (1974) 南関東における第四紀中期のテフラの対比とそれに基づく編年. 地学雑誌, **83**, 22–58.
- 町田 洋・新井房夫・杉原重夫 (1980) 南関東と近畿の中部更新統一の対比と編年—テフラによる一つの試み—. 第四紀研究, **19**, 233–261.
- 町田瑞男 (1973) 武蔵野台地北部およびその周辺地域における火山灰層位学的研究. 地質学雑誌, **79**, 167–180.
- 町田瑞男 (1996) 秩父市安立における尾田嶽火山灰層のフィッシュン・トラック年代. 埼玉県立自然史博物館研究報告, **14**, 7–9.
- Machida, M. (1999) Quaternary geology in the central to western part of the Kanto tectonic basin. *Research Bulletin, Saito Ho-on Kai Museum of Natural History*, **67**, 1–85, with 4 plates.
- 町田瑞男・磯田亮洋 (1983) 関東平野西縁, 秩父盆地の第四紀地史. 埼玉県立自然史博物館研究報告, **1**, 51–66.
- 町田 貞・井口正男 (1952) 秩父盆地の段丘地形. 地理学評論, **25**, 221–229.
- 松本盆地団体研究グループ (1972) 松本盆地の第四紀地質の概観—松本盆地の形成過程に関する研究 (1). 地質学論集, **7**, 294–304.
- 皆川紘一・町田瑞男 (1971) 南関東の多摩ローム層序. 地球科学, **25**, 164–176.
- 中村正芳・高崎地学愛好会 (1989) 群馬県西部碓氷川下流域の第四系—野殿集塊岩層の再検討. 日本地質学会第 96 年学術大会講演要旨集, 276.
- 中谷 進 (1972) 大町テフラ層とテフロクロロジー. 第四紀研究, **11**, 305–317.
- 中里裕臣・檀原 徹 (2005) TE-5 テフラの年代と給源. 日本地質学会第 112 年学術大会講演要旨, 83.
- 中里裕臣・佐藤弘幸 (1998) 銚子半島犬吠層群における大町 APm テフラ群の層位. 日本第四紀学会講演要旨集, **28**, 62–63.
- 中澤 努・中里裕臣・大嶋秀明・堀内誠示 (2009) 関東平野中央部における上総—下総層群境界: 越谷 GS-KS-1 コアでの MIS12 層準の特定. 地質学雑誌, **115**, 49–63.
- 楡井 尊 (2017) 関東内陸部における中期更新世の古植生及び古気候—約 78 万年前から 12 万年前—. 埼玉県立自然の博物館研究報告, **11**, 1–16.
- 埼玉県 (1954) 20 万分の 1 埼玉県地質図および同説明書. 埼玉県, 44p.
- 斉藤尚人 (2000) ハヶ岳東麓と関東平野の中期更新世テフラの対比とその編年. 第四紀研究, **39**, 15–23.
- 斉藤尚人・クリスタル・アッシュ (大町 APm, BP) 研究会 (1996) 中部日本における中期更新世の指標テフラ. 第四紀研究, **35**, 339–345.
- 坂倉勝彦 (1935) 千葉県小櫃川流域の層序 (その 2). 地質学雑誌, **42**, 753–784.
- 坂田健太郎・中澤 努・中里裕臣 (2011) 八潮 GS-YS-2 コアに見られる更新統一総層群の堆積サイクルとテフロクロロジー. 地質調査所報告, **62**, 329–345.
- 坂田健太郎・中澤 努・中里裕臣 (2012) 秩父盆地尾田嶽丘陵にみられる中期更新世テフラの記載岩石学的特徴. 地質調査所報告, **63**, 119–127.
- 清水康守・堀口萬吉 (1994) 関東平野西部の多摩ローム層について. 埼玉大学紀要, 自然科学編, **29**, 107–119.
- 鈴木毅彦 (1992) 大町 APm テフラ群の岩石記載的特性とそれにもとづく対比. 第四紀, **25**, 1–5.
- 鈴木毅彦 (2000) 埼玉県秩父盆地に分布するテフラとその考古編年上の意義. 月刊地球, **22**, 687–692.
- 鈴木毅彦 (2003) テフラ研究からみた中部山岳域周辺における中—後期更新世編年の諸問題. 第四紀研究, **42**, 157–163.
- 鈴木毅彦 (2008) 秩父盆地. 日本地質学会 (編), 日本地方地質誌 3. 関東地方. 朝倉書店, 東京, pp. 365–367.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹 (1998) 関東—中部地方に分布する第四紀テフラのフィッシュン・トラック年代. 地学雑誌, **107**, 348–367.
- 鈴木毅彦・早川由紀夫 (1990) 中期更新世に噴出した大町 APm テフラ群の層位と年代. 第四紀研究, **29**, 105–120.
- 鈴木毅彦・早津賢二 (1991) 関東—中部地方の第四紀テフラ研究—特に中期更新世テフラの重要性—. 第四紀研究, **30**, 361–368.
- 高木俊男・柳田 誠・藤原 治・小澤昭男 (2000) 河岸段丘から推定した河床高度変化の歴史. 地学雑誌, **109**, 366–382.

高山俊昭・佐藤時幸・亀尾浩司・後藤登美子 (1995) 第四系石灰質ナンノ化石層序と鮮新統/更新統境界の年代値. 第四紀研究, **34**, 157-170.

竹本弘幸・米澤 宏・由井将雄・小池一之 (1987) 中之条湖成層の層序とフィッシュトラック年代. 駒沢地理, **23**, 93-108.

竹下欣宏 (2004) 中部日本, 中期更新世古期御岳火山の火山活動史—テフラ層序学と記載岩石学に基づいて—. 地質学雑誌, **110**, 158-174.

竹下欣宏・三宅康幸・酒井潤一 (2005) 古期御岳火山起源の中期更新世テフラと房総半島上総層群中のテフラとの対比. 地質学雑誌, **111**, 417-433.

徳橋秀一・遠藤秀典 (1984) 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅). 地質調査所, 136 p.

Toyoda, S., Tsukamoto, S., Hameau, S., Usui, H. and Suzuki, T. (2006) Dating of Japanese Quaternary

tephras by ESR and luminescence methods. *Quaternary Geochronology*, **1**, 320-326.

Tsukamoto, S., Murray, A. S., Huot, S., Watanuki, T., Denby, P. M. and Bøtterjensen, L. (2007) Luminescence property of volcanic quartz and the use of red isothermal TL for dating tephras. *Radiation Measurements*, **42**, 190-197.

矢部長克・青木簾二郎 (1907) 関東構造盆地周縁山地に沿へる段丘の地質時代. 地理学評論, **3**, 79-87.

矢口裕之・小森郁美・長谷川桂子 (1992) クリスタルアッシュの層位と対比. 日本地質学会第 92 年学術大会講演要旨集, 230.

ハヶ岳団体研究グループ (1988) ハヶ岳山麓の中部更新統. 地団研専報, **34**, 53-89.

吉永秀一郎・宮寺正美 (1986) 荒川中流域における下位段丘の形成過程. 第四紀研究, **25**, 187-201.

付表 1 大町 APm テフラ群とその関連テフラの名称および初出論文.

Appendix Table 1. Names and abbreviations for the Omachi APm tephras and related tephra layers with their original references.

テフラ名	略 称	出 典	別 名	略 称	出 典
長野県大町市大町スキー場, 長野市大岡中牧禪平 (旧長野県大岡村禪平)					
大町 APm テフラ群	APm / APms	鈴木・早川 (1990)			
A ₁ Pm, A ₂ Pm, A ₃ Pm	A ₁ Pm, A ₂ Pm, A ₃ Pm	中谷 (1972), 鈴木・早川 (1990)			
A ₄ Pm, A ₅ Pm	A ₄ Pm, A ₅ Pm	鈴木・早川 (1990)	クリスタルアッシュ 4, 5 CA4, CA5		木村 (1987)
A ₆ Pm	A ₆ Pm	矢口ほか (1992)			
オレンジ軽石	O.P.	木村 (1987)	加久藤火山灰	Kkt	鈴木・早津 (1991)
長野県松本盆地, ハヶ岳周辺					
黒雲母浮石	B ₁ , B ₂ , B ₃ B ₀ B ₂ ' B _{0.5}	飯島・塩川グループ (1967) ハヶ岳団体研究グループ (1988) 斉藤・クリスタル・アッシュ (大町 APm, BP) 研究会 (1996) 斉藤・クリスタル・アッシュ (大町 APm, BP) 研究会 (1996)			
クリスタルアッシュ	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄	松本盆地団体研究グループ (1972)			
角閃石含有白色軽石	Ho. 白 Pm. Yt-hop	ハヶ岳団体研究グループ (1988) 町田・新井 (2003)			
ヌカ 1	Nuka 1 Yt-Nuka 1	鈴木・早川 (1990) 町田・新井 (2003)	加久藤火山灰	Kkt	鈴木・早津 (1991)
関東平野, 房総半島					
クレンジー	Cleanser	中村・高崎地学愛好会 (1989)	NLu-20	NLu-20	竹本ほか (1987)
尾田蔦火山灰	ODA	鈴木・早川 (1990)			
八王子黒雲母軽石	HBp	皆川・町田 (1971)			
HBpup	HBpup	斉藤 (2000)			
TE-5	TE-5	町田ほか (1974)	TE-5a	TE-5a	町田・新井 (2003)
TE-5up	TE-5up	斉藤 (2000)	TE-5b	TE-5b	町田・新井 (2003)
J4	J4	徳橋・遠藤 (1984)			
J4up	J4up	斉藤 (2000)			
銚子 1a テフラ	Ty1a	中里・佐藤 (1998), 中里・檀原 (2005)			
銚子 1b テフラ	Ty1b	中里・佐藤 (1998), 中里・檀原 (2005)	J4up	J4up	斉藤 (2000)

現存しない与太郎淵（岐阜県）におけるヒブナの記録

岸 大弼¹⁾Records of scarlet crucian carp (hibuna) *Carassius* sp. in the extinct Yotarobuchi Pond (Gifu Prefecture, Japan)Daisuke KISHI¹⁾

要 旨

与太郎淵は、岐阜県郡上市白鳥町歩岐島地区にかつて存在していた池で、コイ科フナ属の体色変異個体であるヒブナの分布域として知られていた。しかし、1956年に埋め立てにより消失した後、ヒブナが分布していたことは現地においても忘失されつつある。本研究では、その分布記録をあらためて提示するため、地籍図・現地調査ならびに文献調査を実施して情報を整理した。現地調査では、いずれの地点でも与太郎淵の痕跡は確認されなかったが、過去の地籍図および聞き取りによる情報から、その位置・形状や周辺の水路の存在が判明した。文献調査では、与太郎淵の埋め立ての経緯や名称の由来が確認された。また、ヒブナは、1934年の文献を最後に分布記録が途絶していたが、聞き取りによる情報から、1950年代まで生息していた可能性が示唆された。本研究では、ヒブナの来歴については不明な点が残ったものの、生息していた水域や年代について一定の知見が得られた。

キーワード：フナ、体色変異個体、長良川水系、文献調査、古書、地籍図

(2020年11月4日受付, 2020年12月31日受理, 2022年1月5日発行)

はじめに

日本には、大小さまざまな湖沼や池が多数存在する。しかし、人間活動による環境改変を受けているものは少なくなく、中にはその水域自体が消失した事例も実在する。国内では、農地への転換を目的に、古くから湖沼の干拓が行われてきた（小笠原・越田, 1965；益子ほか, 1970；西野, 2008；池田, 2015）。滋賀県の事例では、干拓により、琵琶湖に隣接する内湖と呼ばれる止水域が1940年の37箇所（29.02 km²）から1995年には23箇所（4.25 km²）に減少している（西野, 2008）。石川県の今江潟や京都府の巨椋池のように、広大な水域

が全面的に消失した事例もある（益子ほか, 1970；池田, 2015）。また、高度経済成長期からは、企業・住宅用地への転換を目的に、ため池の埋め立てが行われるようになった（武田, 2010）。兵庫県の事例では、1971年から2008年の間に12,000箇所ものため池が埋め立てられたという（武田, 2010）。干拓や埋め立てによって湖沼や池が消失すると、当然のことながら、水生生物の生息は不可能となる。コイ科モツゴ属のシナイモツゴ *Pseudorasbora pumila pumila*（環境省レッドリスト絶滅危惧IA類）を例に挙げると、宮城県の品井沼がその模式産地となっていたが（小西, 2010）、沼の全面的な干拓により（小笠原・越田, 1965）、模式産地そのも

¹⁾ 岐阜県水産研究所下呂支所, 岐阜県下呂市萩原町羽根 2605-1

Gero Branch, Gifu Prefectural Research Institute for Fisheries and Aquatic Environments; 2605-1 Hane, Hagiwara, Gero, Gifu, 509-2592 Japan

kishi-daisuke@pref.gifu.lg.jp

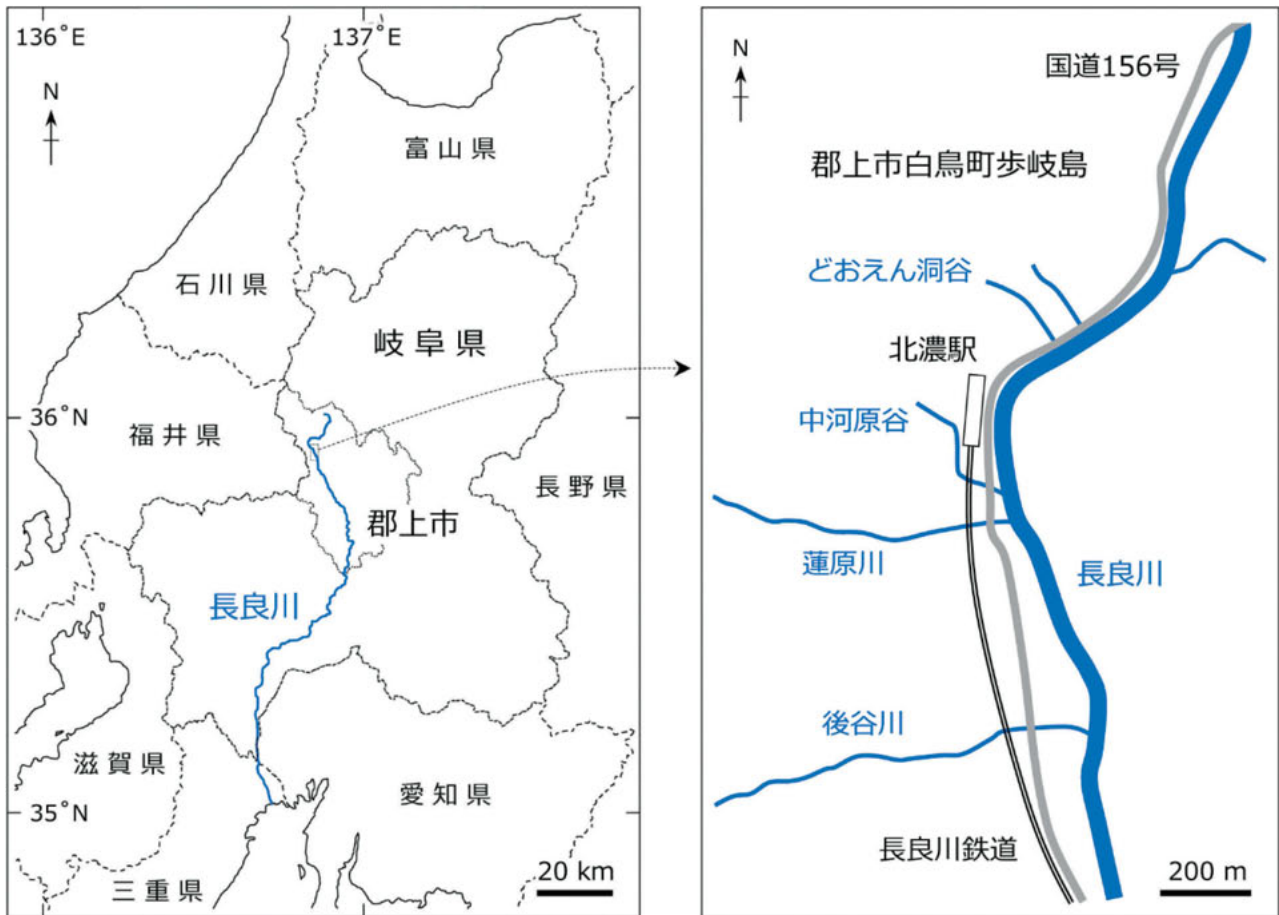


図1 岐阜県郡上市白鳥町歩岐島地区の位置。

のが消失している。このように、国内では湖沼や池の消失と同時に、そこに生息する水生生物の絶滅が進行しているのが現状と考えられる。

消失した湖沼や池における水生生物のかつての分布状況については、情報が十分に整理されているとは限らず、知見が不足している場合が多い。本研究が対象とした岐阜県郡上市白鳥町歩岐島地区の与太郎淵（文献によっては、旧字体で與太郎淵と表記）もその一例である。与太郎淵は、かつて長良川水系に存在していた池で、ヒブナ *Carassius* sp. の分布域として知られていた（岐阜県、1881；戸塚，1917；片野，1934）。ヒブナは、コイ科フナ属の体色変異個体のことで、北海道から沖縄県にかけての全国各地で確認されているが、いずれの地域でも局所的な分布であること、かつ生息数が少ないことから、希少な魚類として認識されている（黒岩，1927；針生・山代，1986；Ojima，1987；鹿野ほか，2017）。与太郎淵は、筆者が把握している文献の範囲内では東海地方におけるヒブナの唯一の分布域であり、特異的な事例であると考えられる。しかし、与太郎淵は1956年に埋め立てられたために現存せず（白鳥町教育委員会，1977；北濃地区伝承クラブ，1990）、ヒブナは絶滅したものと考えられる。与太郎淵が消失して60年以上が

経過した現在、ヒブナが分布していたことは現地においても忘失されつつある。また、与太郎淵のヒブナの標本や写真は確認されていないため、文献が唯一の情報源であるが、それらの文献の存在についても十分に認識されていないのが実情である。そこで本研究では、与太郎淵におけるヒブナの分布記録をあらためて提示することを目的とし、地籍図・現地調査ならびに文献調査を実施して情報を整理した。

方 法

現地調査は、2020年10月に岐阜県郡上市白鳥町歩岐島地区の長良川鉄道越美南線の北濃駅の敷地内とその周辺で実施し、ヒブナの分布域であった与太郎淵の跡地ならびに周辺の河川や水路の現況を確認した（図1）。また、現地で聞き取りを実施し、過去の水域や生息魚類に関する情報を収集した。この地区は、1897年以前は郡上郡歩岐島村であり、1897年に歩岐島村と周辺の村が合併して郡上郡北濃村に移行、1956年に北濃村と周辺の町村と合併して郡上郡白鳥町に移行した後（白鳥町教育委員会，1977）、2004年に白鳥町を含む郡上郡の全町村が合併して現在は郡上市となっている。越美南

線は、1934年に北濃駅まで開通し、1986年に日本国有鉄道から長良川鉄道に移管されている（渡利・有代、1996）。

現在、与太郎淵の埋め立てからすでに60年以上が経過しており、予備調査ではその位置の特定が困難と判断された。そこで、本研究では、歩岐島地区の過去（郡上郡北濃村大字歩岐島字下河原および中河原）、ならびに現在（郡上市白鳥町歩岐島字下河原および中河原）の地籍図を岐阜県地方務局八幡支局で取得し、それらを参照しながら現地調査を実施した。過去の地籍図は、作成年が記載されていなかったが、北濃駅の着工前の土地利用が記載されていたことから、北濃村が成立した1897年（白鳥町教育委員会、1977）から北濃駅が開業した1934年（渡利・有代、1996）にかけてのいずれかの時期に作成されたものと考えられる。北濃駅敷地内での現地調査は、長良川鉄道に申請したうえで、列車の発着がない時間帯に安全な位置から目視および写真撮影により実施した。

文献調査では、岐阜県図書館、岐阜県歴史資料館、郡上市図書館、下呂市はぎわら図書館において、与太郎淵に関する文献、ならびにそこに生息していたヒブナに関する文献を閲覧した。そのほか、国立国会図書館デジタルコレクションも利用した。なお、旧字体や旧仮名使いで記述されている文献があるほか、誤植と思われる箇所が一部の文献で見受けられたが、本研究では可能な限り原文のままで引用した。

結 果

地籍図・現地調査

歩岐島地区の過去および現在の地籍図を照合した結果、現在の北濃駅の西側の資材置き場の位置に池と考えられる水域が存在していたことが確認された（図2、3a）。過去の地籍図には、この水域は「谷川」と記載されており、与太郎淵という名称は記載されていなかった。しかし、聞き取りによる情報から、この水域が与太郎淵であることが確認された。このほか、1950年代に全長20 cmほどの赤い魚が与太郎淵にいたという情報が聞き取りで得られた。

与太郎淵の形状については、過去の地籍図に「長百四十八間 巾五間二尺一寸」と記載されており、長さ269 mおよび幅9.2 mと換算され、南北方向に細長い水域であることが確認された。面積については、過去の地籍図には「反別一段六畝十一歩」と記載されており、1,623 m²と換算された。

過去の地籍図では、与太郎淵の北側および東側に接続する複数の水路が確認された（図2）。これらの水路は、北東側の長良川やその支流どおえん洞谷などを水源

とし、与太郎淵に流入していたものと考えられるが、現地調査では確認されなかった。現地調査では、南側の蓮原川を水源とする別の水路が北濃駅敷地内の線路沿いで確認された（図3b）。歩岐島地区は豪雪地帯であり、冬季の除雪作業の効率化のため、線路からの投雪場所としてこの水路が設置されたという情報が聞き取りで得られた。この水路は途中で分岐しているが、どちらも駅敷地内の転車台の下床に導水された後、別の水路で排水される構造となっている（図3c）。これは転車台の下床への積雪防止ならびに台上の線路からの投雪のための構造であるという情報が聞き取りで得られた。このほか、現地調査では、西側の山から流下するごく小規模な河川（中河原谷）が確認された（図3d）。

過去の地籍図では、与太郎淵から南東側に流出していたと考えられる水路が確認された（図2）。この水路は、100 mほど下流で長良川に合流していたことが過去の地籍図から確認され、それと類似する位置に現存していることが現地調査で確認された。また、中河原谷の水ならびに転車台の下床の水は、この水路に集約されて長良川に流下していることが確認された（図3e）。

文献調査

与太郎淵について記述している文献、ならびにそこに生息していたヒブナについて記述している文献は、計10件が確認された。以下、発行年の順に列記する。なお、一部の文献は、他の文献の情報を流用した二次資料の可能性があるが、いずれも引用文献が明記されておらず、各情報の出典が正確に確認できないため、一次資料と二次資料の判別は行わなかった。

1. 美濃飛騨両國諸川魚類取調書（岐阜縣，1881）

この文献では、郡上郡歩岐島村（現在の郡上市白鳥町歩岐島）に「與太郎淵」という池が存在していることが記述されている。また、与太郎淵の面積は90坪あまり（約300 m²）であること、ヒブナの形状は通常のフナと異なること、体サイズは約6-7寸（18-21 cm）であることが記述されている。体色は1歳から3・4歳までは「黒緋ノ斑色」あるいは「黒等」で、5歳で「緋色」となると記述されている。ヒブナの体色は「最も美麗ナル緋色」で、通常のキンギョの「遠ク及フ所ニアラス」と記述されている。このほか、住民が鑑賞目的でキンギョとともにヒブナを与太郎淵で蓄養していたことが記述されている。

なお、今回の文献調査では、岐阜県歴史資料館に収蔵されている「美濃飛騨両國諸川魚類取調書」を閲覧したが、執筆者、発行年、発行機関の情報が記載されていないことが確認された。そのため、本研究では、金古・千藤（2008）の推測に従い、1881年に岐阜縣が発行し

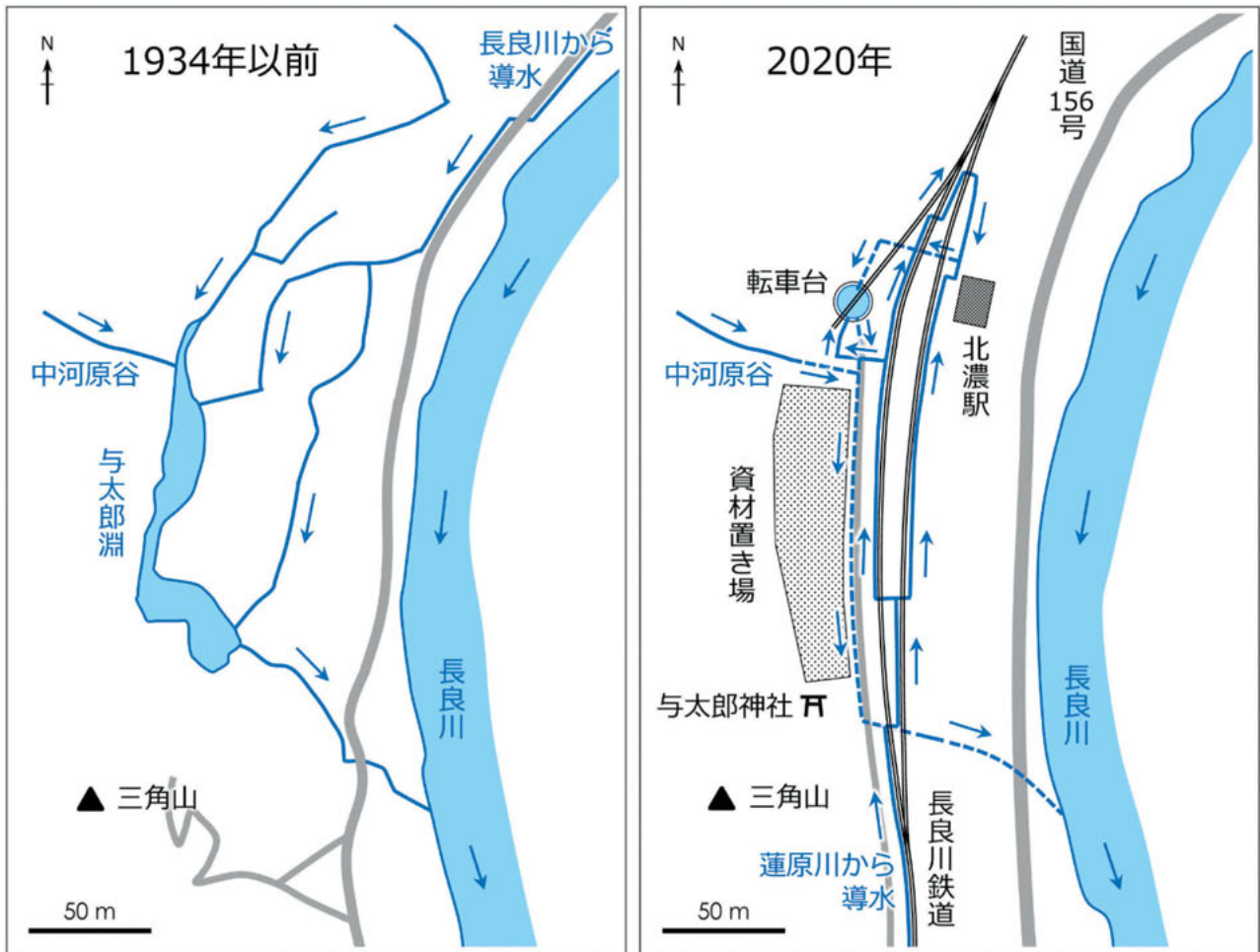


図2 1934年（北濃駅開業）以前の与太郎淵の推定図，ならびに同一地点の2020年の現況図．青色は水域（点線は暗渠の推定位置），矢印は流向，灰色は道路，黒線は線路を示す．

たものとして引用文献の欄に記載した。

2. 岐阜県産魚類豫報（田中，1909）

この文献では，1897年に「郡上郡彌富村」の与太郎淵でヒブナが採集されたことが記述されている．この文献でのみ与太郎淵の所在地が彌富村と記述されている．彌富村は，現在の郡上市大和町万場・剣・大間見・小間見地区に相当し，歩岐島村（当時）より10 kmほど南に存在していた．著者が把握している文献の範囲では，この田中（1909）以外に，歩岐島村の与太郎淵と同名の池が彌富村に存在していたという情報や，彌富村の池にヒブナが分布していたという情報はない．田中が「彌富村の与太郎淵」をヒブナの分布域と記述した経緯は不明であるが，村名を誤認したものと推測される．

3. 郡上郡案内（戸塚，1917）

この文献では，与太郎淵が北濃村歩岐島の「山崖」に位置していたことが記述されている．また，そこに「世に珍しき緋鮒」が生息していることが記述されている．

4. 美濃國長瀧史料（片野，1934）

この文献では，与太郎淵の所在地が北濃村大字歩岐島字中河原であることが記述されている．また，水面に浮かんでいる赤い布を拾い上げようとした与太郎という人物が池の中に陥って再び浮かび出るとはなかったこと，それが淵の名称の由来になったことが記述されている．このほか，与太郎淵に「珍魚緋鮒ノ游泳ヲ見ル」と記述されている．

5. 郡上八幡町史 下巻（太田，1987）

この文献では，「与太郎淵は底なしを伝えていたが，今は埋められてあとかたもない」と記述されている．なお，この文献は，1961年に発行されているが，今回の文献調査では1987年の復刻版を参照した．

6. 郡上郡郷土誌（郡上郡郷土誌編集委員会，1962）

この文献では，与太郎淵の伝説として「与太郎という男が，落ちると鮒になって底にかくれてしまった」と記述されている．

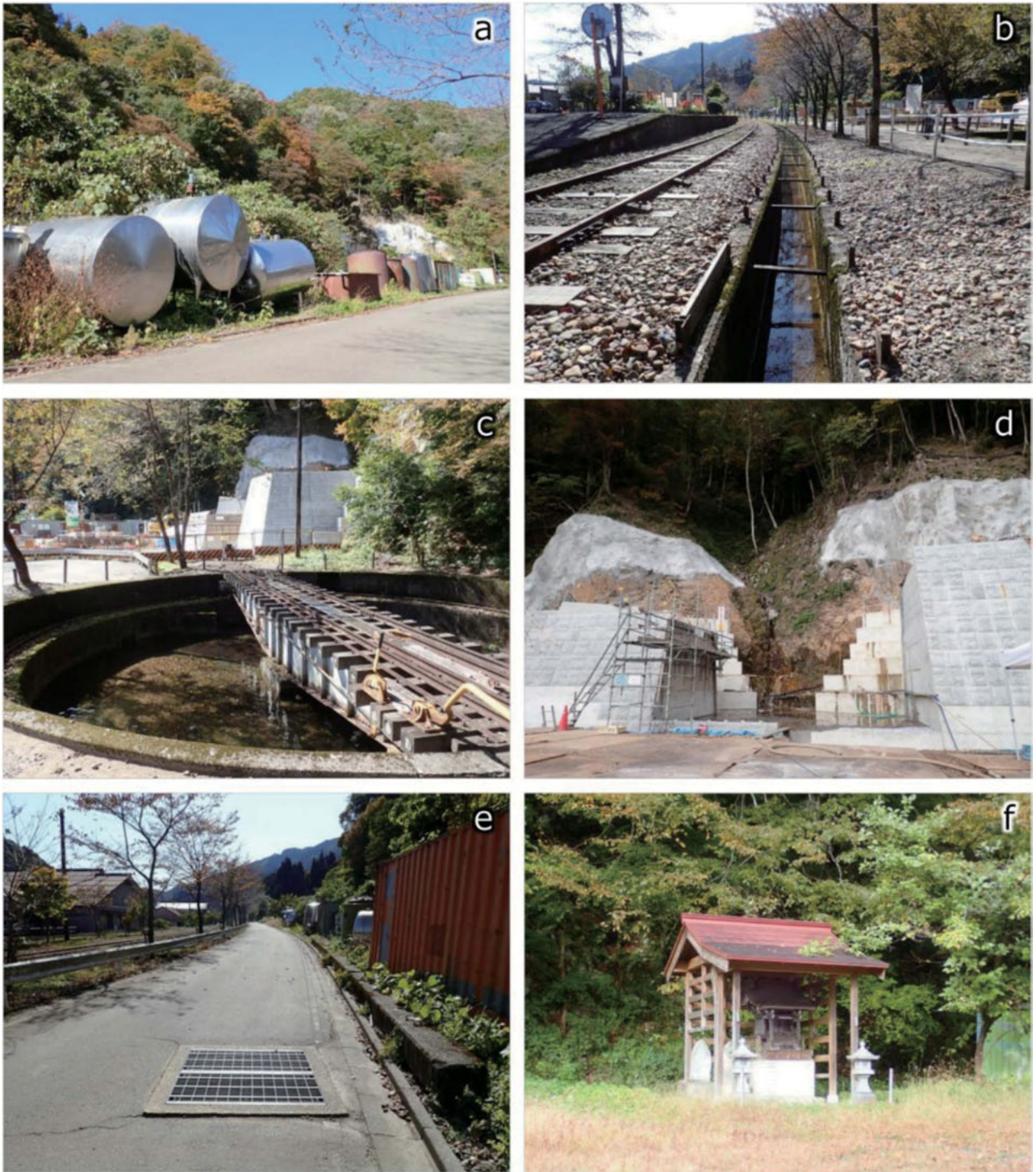


図3 与太郎淵の跡地および周辺の現況 (a: 資材置き場, b: 北濃駅敷地内の水路, c: 転車台, d: 中河原谷, e: 転車台や中河原谷から長良川に流下する暗渠, f: 与太郎神社).

7. ほかのう風土記（北濃小学校，1969）

この文献では、北濃駅付近の「下河原」に水が出てできた淵が「長淵」と呼ばれていたこと、与太郎という人物がそこに落ちたとされることから与太郎淵と名付けられたことが記述されている。与太郎淵の所在地は下河原と記述されているが、実際の字名は中河原であり、著者の誤認と推測される。また、与太郎淵が御母衣ダムの建

設工事に伴って埋め立てられ、「土場」に改変されたことが記述されている。このほか、「伊勢湾台風、室戸台風、十六号台風」によって歩岐島地区に災害が続いたこと、それが「与太郎淵のたたり」だといわれていたこと、三角山（与太郎淵の跡地の西側）に犬山成田山から「神様をおうけて、まつた」のが与太郎神社であること、その後は大きな災害がないことが記述されている。

8. 白鳥町史 通史編下巻（白鳥町教育委員会，1977）

この文献では、与太郎淵が「山際」にあったこと、池に浮かんでいる赤い布を拾い上げようとした与太郎という人物が水中に引きこまれて出られなくなってしまったこと、それからこの池が与太郎淵と呼ばれていること、その底に「カワロウ（河童）」が住んでいるとあって恐れられてきたことが記述されている。また、御母衣ダム建設に伴う北濃駅の拡張工事で1956年に埋め立てられて「資財等の置き場」となり、「跡かたもなくなった」ことが記述されている。また、別項では、与太郎という人物が落ちて「鮎になり、淵の底にかくれた」と記述されている。

9. ほくのう風土記（北濃小学校，1981）

この文献では、池に浮かんでいる赤い布を拾い上げようとした与太郎という人物が水中に引きこまれて出られなくなってしまったこと、それからこの池が与太郎淵と呼ばれていること、その底に「カワロウ（河童）」が住んでいるとあって恐れられてきたことが記述されている。また、別項では、与太郎という人物が淵に落ちて「鮎になり、淵の底にかくれた」と記述されている。このほか、与太郎淵が御母衣ダムの建設のために埋められて「土場」に改変されたこと、埋め立て後に「伊勢湾台風、室戸台風、十六号台風」によって歩岐島地区に災害が連続して発生したこと、それが「与太郎淵のたたり」だといわれていたこと、三角山（与太郎淵の跡地の西側）に犬山成田山から「神様をお受けして、まつた」のが与太郎神社であることが記述されている。

10. 北濃の史跡と伝承（北濃地区伝承クラブ，1990）

この文献では、与太郎淵が「山際」にあったこと、与太郎という人物がこの池で魚を釣っていて「カワロウ（河童）」に引きこまれてしまったこと、それからこの池が与太郎淵と呼ばれていること、池の底には「カワロウ」が住んでいるとあって恐れられてきたことが記述されている。また、与太郎淵には、多数のフナやコイが息していたこと、1956年に御母衣ダム建設に伴う北濃駅の拡張工事で埋め立てられたこと、それによって資材置き場となって「跡形もなくなった」ことが記述されている。このほか、「埋没された与太郎淵の、ぬし（精）を祀る」ため、1963年に「小さな社に不動様がおまつり」されたことが記述されている。

考 察

地籍図・現地調査ならびに文献調査により、与太郎淵の位置、埋め立ての経緯、名称の由来、ヒブナの分布記録、来歴、与太郎淵の跡地および周辺の現況について、以下

の情報が得られた。

与太郎淵の位置

地籍図・現地調査の結果、与太郎淵が存在していた位置が特定された。これは北濃駅の西側の山際であり、戸塚（1917）、白鳥町教育委員会（1977）、北濃地区伝承クラブ（1990）の記述と一致した。与太郎淵の形状については、南北方向に細長いことが過去の地籍図から確認された。これは、北濃小学校（1969）が記述している与太郎淵の別名「長淵」と一致しているといえる。

面積については、岐阜縣（1881）では約300 m²、過去の地籍図では1,623 m²とされており、両者には大差があった。与太郎淵は、水路が部分的に拡張したような形状の池であり、水路との境界が不明確であるため、測定者によって与太郎淵の範囲の定義が異なっていたものと推測される。

水源については、「駅の付近（中略）に水がでて」という記述があった（北濃小学校，1969）。現地調査で確認された中河原谷がそれに相当する河川と推測される。過去の地籍図では、与太郎淵の北側や東側に接続する複数の水路が確認された。これらも与太郎淵の水源のひとつだったと考えられる。また、流出する水路については、与太郎淵の南東側に存在していたことが過去の地籍図から確認された。

与太郎淵の埋め立ての経緯

与太郎淵は、北濃駅が開業した1934年以降も存在していたが、庄川での御母衣ダム（高山市荘川町および大野郡白川村）の建設に伴う駅の拡張工事によって1956年に埋め立てられている（白鳥町教育委員会，1977；北濃地区伝承クラブ，1990）。北濃駅は御母衣ダムの工事現場への資材輸送の中継地点とされ（渡利・有代，1996）、鉄道から自動車への積み替え作業の場所を確保するため、与太郎淵の全面的な埋め立てが実施されたと考えられる。

与太郎淵の名称の由来

与太郎淵の名称については、片野（1934）、北濃小学校（1969，1981）、白鳥町教育委員会（1977）、北濃地区伝承クラブ（1990）にその由来が記述されていた。それらは、いずれの文献も与太郎という人物が池に引き込まれたという点で共通している。片野（1934）によれば、与太郎淵の名称の由来は、与太郎という人物が赤い布を追って池に引き込まれるというものだった。これと同様の情報は、1980年頃まで存続していたことが確認された（白鳥町教育委員会，1977；北濃小学校，1981）。しかし、1990年には「与太郎と言う男がこの池で魚を釣っていて『カワロウ』（河童）に引きこまれ

てしまった」という内容に一部変化しており（北濃地区伝承クラブ、1990）、近年は、名称の由来が脚色されていることが示唆された。

片野（1934）、白鳥町教育委員会（1977）、北濃小学校（1981）では、与太郎という人物が赤い布を追って池に引き込まれたという内容が記述されている。白鳥町教育委員会（1977）と北濃小学校（1981）では、池に引き込まれた与太郎が「鮒」になったと記述されており、これは布の色とヒブナの体色との関連性を想起させる内容といえる。ただし、明確に「緋鮒」と記述していたのは片野（1934）のみであった。それ以降の文献には体色に関する記述がなく、単に「鮒」としか記述されていない（郡上郡郷土誌編集委員会、1962；白鳥町教育委員会、1977；北濃小学校、1981）。このように、かつて与太郎淵にヒブナが分布していたことは、現地においても忘失されているのが実情と考えられた。

ヒブナの分布記録

与太郎淵のヒブナに関する情報は、岐阜県（1881）、田中（1909）、戸塚（1917）、片野（1934）に記述されていたが、1934年以降の文献では記述されていなかった。今回確認した文献の範囲内では、ヒブナの記録が80年以上途絶していることが確認された。ただし、聞き取りでは、1950年代に全長20 cmほどの赤い魚が与太郎淵にいたという情報が得られた。そのため、ヒブナは、1934年以降も与太郎淵で残存しており、埋め立てが実施される1956年まで生息していた可能性がある。

ヒブナの来歴1：キンギョと混同された可能性

ヒブナという名称は、本来、自然分布域において通常体色のフナ属魚類から偶発的に出現した緋・赤・橙・黄色の個体を指すものである（松井、1935；Makino, 1941）。ただし、そうした原義のヒブナ以外に、キンギョの1品種であるワキンをヒブナとみなす事例が古くから存在する（松井、1934, 1941；Makino, 1941）。キンギョの尾鱗は、鮒尾型（フナと同様の形態）と開き尾型（三つ尾、四つ尾、さくら尾、孔雀尾など）に大別される（松井、1941）。ワキンでは、鮒尾型と開き尾型の両方が存在し、ワキンの鮒尾型とヒブナを目視で識別することは困難とされる（松井、1935, 1976）。また、Makino（1941）は、鮒尾型の個体をヒブナ、三つ尾や四つ尾の個体をワキンと説明しており、英名「common gold-fish」に相当するものはヒブナであるとしている。1930年代にはワキンの鮒尾型がヒブナという商品名で流通していた例があるほか（松井、1934）、九州ではワキンの鮒尾型をヒブナと呼称する地方があったとされ（松井、1941）、当時すでにヒブナの定義が不明確にな

っていたのが実情である。

岐阜県（1881）によれば、与太郎淵ではヒブナとキンギョが混生していたが、ヒブナの体色は「最も美麗ナル緋色」で、キンギョの「遠ク及フ所ニアラス」と記述されており、両者が異なる魚として認識されていたことが確認された。「最も美麗ナル緋色」と一致するかどうか検討の余地があるが、松井（1934）によれば、ヒブナはワキンと比較すると概して体色が薄い個体が多いという。ただし、今回の文献調査の範囲では、与太郎淵のキンギョの体色に関する情報は確認されず、ヒブナの体色との具体的な差異については不明である。

ヒブナおよびキンギョの初期の体色は、フナと同様である（松井、1934）。キンギョの初期の体色は、淡黒色、鉄色、青銅色、蒼黒色とされ（瀧瀬、1915；松井、1934, 1935, 1941）、ワキンの例では、紅色または白色への変化はふ化後2ヶ月から半年ほどの間に観察されている（松井、1934）。一方、ヒブナの体色変化の時期はワキンよりも遅く、2年目に体色に変化する個体も存在するという（松井、1934）。岐阜県（1881）では、与太郎淵のヒブナの体色は1歳から3・4歳までは「黒緋ノ斑色」あるいは「黒等」で、5歳で「緋色」となると記述されている。明治時代はいわゆる数え年が常用されており、生年が1歳として扱われていた。したがって、岐阜県（1881）が記述している1歳は0+、3・4歳は2+および3+、5歳は4+に相当する。与太郎淵のヒブナは、0+から2+や3+までの期間は黒色と緋色が混在する斑状の体色または黒色であり、4+で緋色に変化していたものと考えられる。このように、与太郎淵のヒブナは、体色変化の時期が遅いことから、キンギョである可能性は否定できる。

ヒブナの来歴2：放流由来の可能性

与太郎淵では、ヒブナとキンギョのほか（岐阜県、1881）、フナとコイの分布も確認された（北濃地区伝承クラブ、1990）。しかし、長良川におけるフナとコイの分布域は、郡上市美並町から三重県桑名市長島町付近にかけてとされる（丹羽、1957）。与太郎淵（標高445 m）は、それらの分布域の上限である郡上市美並町（標高170 m）より30 km以上上流側に位置していることから、フナやコイも放流に由来する可能性がある。そのため、ヒブナが与太郎淵においてフナから自然発生的に出現したものだったとしても、自然分布域での現象とは言い難い。

与太郎淵では、キンギョの放流時期は不明であるものの、1881年にはすでに生息が確認されている（岐阜県、1881）。岐阜県内では、明治時代初期には山間部の村でのキンギョの生産記録があることから（秋道、1979）、当時流通していたことは事実と考えられる。キンギョの

輸送が可能であったのであれば、ヒブナの輸送も十分可能であったものと考えられる。こうした背景から、与太郎淵のヒブナが他の地域からの輸送・放流に由来する可能性は否定できない。

ヒブナの来歴 3：交雑由来の可能性

フナとキンギョの交雑個体がヒブナと扱われる場合があることにも留意する必要がある（三好，1903；松井，1935）。三好（1903）は、江戸時代後期の天保年間にフナとキンギョとを交雑させた事例があるとし、それにより作出された個体がヒブナであるとしている。松井（1935）は、フナとキンギョが正逆いずれの組み合わせでも交雑可能であることや、それらの交雑に由来する個体が繁殖能力を有することを実際に確認している。キンギョの雌とフナの雄の交雑個体の例では、生後3年間は体色に変化するものは少数である（松井，1935）。これは、ヒブナの体色変化の時期がキンギョより遅いという特徴と同様であり（松井，1934）、与太郎淵のヒブナの特徴（岐阜縣，1881）にも類似しているといえる。与太郎淵にはフナとキンギョの両方が生息していたことから、ヒブナとされている個体がそれらの交雑によって出現した可能性についても考慮する必要がある。

与太郎淵の跡地および周辺の現況

与太郎淵の跡地は、現在、大部分が資材置き場に、一部が道路になっている。現地調査では、いずれの地点でも与太郎淵の痕跡は確認されなかった。太田（1987）によれば、埋め立て後の与太郎淵は、すでに1961年の時点で「あとかたもない」状態だったという。2020年10月現在、かつての流入河川だった中河原谷で砂防工事が行われており（図3b）、与太郎淵の跡地の形状は今後さらに変化するものと予想される。

現地調査では、かつて北側や東側から流入していた水路は確認されなかった。その一方で、南側の蓮原川を水源とする水路が北濃駅敷地内の線路沿いで確認された。また、隣接する転車台の下床にそれらの水路が流入し、円形のコンクリート池のような状態になっている。この転車台の下床の池は、与太郎淵の位置と重複していないことから、与太郎淵を流用したものではなく、陸地を掘削して設置したものと推測される。また、転車台の下床の池で魚類が観察されることがあったが、蓮原川から水路を通じて迷入したものが一時的に生息しているに過ぎないと考えられる。

流出する水路については、与太郎淵の南東側に存在していたことが過去の地籍図から確認され、それに類似する位置に現存していることが現地調査で確認された。しかし、現在は大部分の区間が暗渠に改変されており、与太郎淵が存在した当時の痕跡は確認されなかった。

歩岐島地区では、与太郎淵が1956年に埋め立てられて消失した後、1963年に与太郎神社〔北濃地区伝承クラブ（1990）では「不動様」と記述されている〕が創建されている（北濃小学校，1969，1981）。長良川流域では1959年の伊勢湾台風、1960年の第12号および16号台風、1961年の第2室戸台風による災害が連続して発生している（白鳥町教育委員会，1977）。歩岐島地区では、特に1960年の第16号台風による被害が大きく、この時には北濃駅敷地内に土砂が流入している（渡利・有代，1996）。北濃小学校（1969，1981）によれば、与太郎神社はそれらの災害が契機となって創建されたという。与太郎神社は、当初は三角山に創建されたが、その後、北濃駅に隣接する公園に遷座され、現在は与太郎淵の跡地の南側に再度遷座されている（図2，3f）。現在、与太郎という名称は、この神社でのみ使用されている。

まとめ

本研究では、岐阜県郡上市白鳥町歩岐島地区の与太郎淵に分布していたヒブナについて情報を整理した。ヒブナの来歴については不明な点があるものの、生息していた水域や年代について一定の知見が得られた。今回のような文献調査は、得られる情報量には限度があるが、生物のかつての分布状況、特に人為的な環境変化が本格化する高度経済成長期以前の分布状況を把握するうえで有効な手法と考えられる（田子，1999；日置ほか，2000；岸・徳原，2019）。また、本研究では、消失した水域の位置の特定に過去の地籍図が寄与することが例示された。現在の生物の分布状況の評価、あるいは分布状況の経時変化の検証では、対照となる過去の情報が不可欠である。しかし、これまでの研究では、古い年代の文献や地籍図はあまり活用されておらず、生物のかつての分布状況は十分に把握されてこなかったのが実情といえる。古い年代の文献は、現在の学名・標準和名と当時の地方名との照合に注意が必要であるものの、生物のかつての分布状況を解明する際の貴重な情報源となる（秋道，1979；中島，2013；岸，2018）。今後は、他の生物あるいは地域についても、古い年代の文献や地籍図の情報を整理することが望まれる。

謝 辞

長良川鉄道の方々には、現地調査の際にお世話になった。岐阜県歴史資料館の方々には、文献の閲覧の際にお世話になった。岐阜県方法務局八幡支局の方々には、地籍図の取得の際にお世話になった。神谷伸一氏には、1950年代の与太郎淵について伺った。今井隆幸氏には、北濃駅の水路や転車台について伺った。ここに記して各

位に感謝する。

文 献

- 秋道智彌 (1979) 明治初期・飛騨地方における生産魚類の分布論的研究. 国立民族学博物館研究報告, **4**, 285-339.
- 岐阜県 (1881) 美濃飛騨両諸川魚類取調書. 岐阜県, 岐阜, 150 p.
- 郡上郡郷土誌編集委員会 (1962) 郡上郡郷土誌. 郡上郡教育振興会, 八幡, 511 p.
- 針生 勤・山代昭三 (1986) ヒブナとフナ, ワキンとの外部形態の比較. 鉦路市立博物館紀要, **11**, 53-60.
- 日置佳之・須田真一・百瀬 浩・田中 隆・松林健一・裏戸秀幸・中野隆雄・宮畑貴之・大澤浩一 (2000) ランドスケープの変化が種多様性に及ぼす影響に関する研究—東京都立石神井公園周辺を事例として—. 保全生態学研究, **5**, 43-89.
- 北濃地区伝承クラブ (1990) 北濃の史跡と伝承. 北濃地区公民館, 白鳥, 100 p.
- 北濃小学校 (1969) ほくのう風土記. 北濃小学校, 白鳥, 64 p.
- 北濃小学校 (1981) ほくのう風土記. 北濃小学校, 白鳥, 121 p.
- 池田 碩 (2015) 南山城に存在した巨椋池と干拓後の現状. 奈良大学大学院研究年報, **20**, 15-33.
- 金古弘之・千藤克彦 (2008) 『美濃飛騨両諸川棲息魚介図 附魚類取調書』に見る明治期の岐阜県内の水生生物相. 岐阜県立博物館調査研究報告, **29**, 9-44.
- 鹿野雄一・高田 (遠藤) 未来美・山下奉海・田中 亘・小山彰彦・菅野一輝 (2017) 奄美琉球におけるフナの生息状況と体色多型. 魚類学雑誌, **64**, 95-105.
- 片野 温 (1934) 美濃國長瀧史料, 岐阜縣郡上郡北濃村役場, 北濃, 168 p.
- 岸 大弼 (2018) 岐阜県高山市の苔川における食用藻類“すのり”の過去の分布および利用. 地域生活学研究, **9**, 1-15.
- 岸 大弼・徳原哲也 (2019) 昭和時代初期のサツキマス分布: 農林省水産局「河川漁業」の情報からの推定. 魚類学雑誌, **66**, 187-194.
- 小西 蘭 (2010) シナイモツゴ: 希少になった雑魚をまもる. 魚類学雑誌, **57**, 80-83.
- 額綱理一郎 (1915) 金魚の褪色に就て (上). 動物学雑誌, **27**, 125-130.
- 黒岩 恒 (1927) 琉球島弧に於ける淡水魚類採集概報. 動物学雑誌, **39**, 355-368.
- Makino, S. (1941) A karyological study of gold-fish of Japan. *Cytologia*, **12**, 96-111.
- 益子帰来也・墨田勉彰・朝倉弘修・村中 勝・山本 明 (1970) 今江潟干拓に関連して生じた魚類の大量斃死について. 金沢大学理学部能登臨海実験所年報, **10**, 1-14.
- 松井佳一 (1934) 日本産金魚ノ遺傳學的研究. 水産講習所研究報告, **30**, 1-82.
- 松井佳一 (1935) 科學と趣味から見た金魚の研究. 弘道閣, 東京, 421 p.
- 松井佳一 (1941) 金魚. 河出書房, 東京, 178 p.
- 松井佳一 (1976) ヒブナとテツギョ, 金魚との関係 (遺稿). 淡水魚, **2**, 41-44.
- 三好音次郎 (1917) 金魚問答. 又間精華堂, 大阪, 95 p.
- 中島 淳 (2013) 筑前国統風土記において貝原益軒が記録した福岡県の淡水魚類. 伊豆沼・内沼研究報告, **7**, 23-37.
- 西野麻知子 (2008) 内湖の生物多様性保全・修復に向けて. 滋賀大学環境総合研究センター研究年報, **5**, 13-30.
- 丹羽 彌 (1957) 魚類. 長良川の生物編集委員会 (編), 長良川の生物. 岐阜, pp. 190-218.
- 小笠原節夫・越田捷子 (1965) 宮城県品井沼第七地区の干拓. 東北地理, **17**, 208-213.
- Ojima, Y. (1987) The origin of natural monument, scarlet crucian carp (Hibuna) in the Harutori Lake, Kushiro, Hokkaido, Japan. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, **63**, 365-368.
- 太田成和 (1987) 郡上八幡町史 下巻 (復刻版). 八幡町役場, 八幡, 947 p.
- 白鳥町教育委員会 (1977) 白鳥町史 通史編下巻. 白鳥町教育委員会, 白鳥, 874 p.
- 田子泰彦 (1999) 神通川と庄川におけるサクラマス親魚の遡上範囲の減少と遡上量の変化. 水産増殖, **47**, 115-118.
- 武田和義 (2010) 兵庫県におけるため池の保全・管理の取組み. 水土の知, **78**, 501-504.
- 田中茂穂 (1909) 岐阜県産魚類豫報. 動物学雑誌, **244**, 62-67.
- 戸塚鏝助 (1917) 郡上郡案内. 郡上郡協賛會, 八幡, 135 p.
- 渡利正彦・有代和夫 (1996) ローカル線歴史紀行ふるさと長良川鉄道—越美南線・70年の歩み. 郷土出版社, 岐阜, 163 p.

付 記

国立国会図書館デジタルコレクション (2015年10月9日, 2016年3月14-16日, 2020年10月1日閲覧)
[<http://dl.ndl.go.jp/>]

スギ人工林の間伐が下層植生と訪花に与える影響 —アファンの森と隣接する人工林での観察例—

高槻成紀^{1)*}・望月亜佑子²⁾

Effects of thinning on undergrowth and pollination in a Japanese cedar plantation —A case study at Afan Woodland and the adjacent conifer plantation forest—

Seiki TAKATSUKI^{1)*} and Ayuko MOCHIZUKI²⁾

Abstract

Twenty seven percent of Japan is covered by plantation forests of evergreen conifers. Studies on forestry in Japan have emphasized forest productivity, while biodiversity conservation has not been well studied. The present study tried to find the effects of thinning on undergrowth and pollination in a Japanese cedar plantation. Thinning improved the light condition of the forest floor. SDR (Summed Dominance Ratio) of the undergrowth in the thinned cedar forest was 1.7 times greater than that in the cedar forest without thinning, and 4.5 times greater in the second year. Pioneer shrubs and large forbs typically growing in open habitats greatly increased by thinning. Thinning also increased insect-pollinated flowers and pollinator visits, which were quantitatively similar to those in a deciduous broad-leaved forest. In contrast, no pollination was observed in the cedar forest without thinning. This study suggests that biodiversity is recovered by thinning the Japanese cedar plantation forest.

Key words: biodiversity, forest floor, plantation, pollinator, thinning

(2020年11月23日受付, 2021年3月25日受理, 2022年1月5日発行)

はじめに

木材生産を目的としたスギ (*Cryptomeria japonica*) やヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の常緑針葉樹で構成される人工林は本来、下草刈りや間伐、枝打ちなどの管理が行われる。しかし、現在は林業就業者の減少や高齢化などにより、森林管理が以前のようにはおこなわれなくなっている。その結果、生産木の生長に支障をきたすだけでなく、森林機能の低下や生物多様性の低下を引き起こすといわれている (牧野, 2008 ;

林野庁, 2012)。

日本は国土の67%が森林で、そのうち41%が針葉樹人工林であり、その面積は国土の27%にあたる。人工林の面積は戦後から1960年代にかけて増加し、それ以降は横ばいで推移しているが、材積は増加し続けている (今井, 2006)。したがって、今後の人工林では間伐が重要な課題となると考えられる。間伐は残された木のさらなる生長を促すだけでなく、それにより林内が変化し、生物多様性にも変化が生じると考えられる。しかし、これまでの林業は生産性を重視してきたため、人工林の

¹⁾ 麻布大学いのちの博物館 〒252-5201 神奈川県相模原市淵野辺1-17-71

Life Museum of Azabu University, Azabu University; 1-17-71 Fuchinobe, Sagamihara, Kanagawa, 252-5201 Japan

* Corresponding author: takatuki@azabu-u.ac.jp

²⁾ トヨタ白川郷自然学校 〒501-5620 岐阜県大野郡白川村馬狩223

TOYOTA Shirakawa-Go Eco-Institute; 223 Magari, Shirakawa-mura, Ono-gun, Gifu, 501-5620 Japan

生物多様性についての研究は必ずしも進んでおらず、とくに森林内における昆虫などの小型生物の機能と間伐との関係に関する論文は少ない(岡部, 2008)。

人工林の間伐を行うと、林内が明るくなり、それに伴い林床植物が豊富になることが報告されている(伊東, 2006; 作田ほか, 2009; 横井ほか, 2009; 小谷, 2012; 上森ほか, 2015)。しかしこれまでの調査では林床植物の種数や植物量の報告はあるが、種・種群の特性に着目した研究は少ない。また、間伐は環境を変え、それが林床植物に影響して生育植物の種や量に変化をもたらすだけでなく、その植物を利用する動物にも影響を及ぼす。このことは生物多様性の保全という観点で重要である。その好例として虫媒花と訪花昆虫の関係がある。間伐によって林床に虫媒花植物が増加すれば、それを訪花(受粉・授粉)する昆虫も増加することが予測される。これまでの林業の研究ではこのような視点からの調査は十分に行われてこなかった(ただし Bhujii and Ohsawa, 1999; 長池, 2000)。そこで本調査では長野県にある「アフアの森」に隣接する間伐したスギ人工林(以下、間伐林)と間伐していないスギ人工林を比較することで、間伐による林内の環境変化、下層植物の変化、それに伴う訪花昆虫の変化の一例を観察した。また落葉広葉樹林を伐採して植林を行った群落(以下、伐採地)および伐採を行っていない落葉広葉樹林でも調査を行い、間伐したスギ人工林と比較した(表1)。

方 法

調査地

調査は長野県上水内郡信濃町にある「アフアの森」とそれに隣接する国有林(スギ人工林)でおこなった(図1)。スギ人工林は45年生であり、その一部をアフアの森財団が2011年より国有林側からの依頼を受けて管理するようになった。そこを2012年に間伐し(以下、間伐林)、間伐していない「スギ人工林」と比較した。

比較対象とした「アフアの森」は、以前はササ藪が生い茂る放置林であったが、1986年に故C.W.ニコ



図1 調査地の位置。

ル氏が私有地として取得して以来、森林管理をおこなっており、落葉広葉樹林を主体とした多様な群落が存在する(付記参照)。落葉広葉樹林はコナラ(*Quercus serrata*)を主体とし、伐採地は落葉広葉樹林を伐採してコナラなどの落葉広葉樹を植林している。調査時は植林後、約3年たっている(図2)。

野外調査

上記の目的に対して上記の4群落(間伐林は2年分)において以下の項目を調査し、比較した(表1)。

1. 樹種構成と胸高断面積

スギ人工林、間伐林、落葉広葉樹林で20 m × 20 mの毎木調査区をとり、立木の種名と胸高周を0.5 cmの精度で測定し、断面積を求めた。これをもとにShannon-Wienerの多様度指数H'を算出した。調査区数などは表1にまとめた。樹木密度と断面積は林学関係の論文でha単位で表現されるため、既往論文との比較を考慮して本論文でもhaを使用した(1 ha =

表1 調査項目と年月日、調査努力量(プロット数または距離)。微気象については調査の有無をそれぞれ+と-で示した。

調査項目	調査年月日	スギ人工林	間伐林	落葉広葉樹林	伐採地	サイズ
毎木調査	2014年10月16日	2	1	3	-	20 m × 20 m
微気象	2014年4月から11月まで	+	+	-	-	-
下層植物(積算優占度)	2013年9月26日	2	10	2	-	1 m × 1 m
	2014年6月21日	10	10	5	-	1 m × 1 m
	2014年9月21日	-	-	-	10	1 m × 1 m
下層植物(種数)	2014年6月21日	10	10	10	-	2 m × 2 m
	2014年9月18日	-	-	-	10	2 m × 2 m
訪花昆虫	2014年4月から10月まで	100 m	100 m	125 m	410 m	-



図2 調査した群落の景観.

10,000 m²).

2. 微気象

2014年4月から11月にかけて、スギ人工林と間伐林にT&D製温湿度データロガーTR-72wbとT&D製照度UVレコーダーTR74Uiを設置して気温と照度を測定した。温湿度センサーは地表から高さ5 cmに、照度センサーは地表から15 cmに設置した。測定間隔は1時間に設定した。照度は明るい時間帯である午前9時から17時までの毎時の測定値の月平均値と、各日の最高値の月平均値を求めた。気温と湿度は毎時の測定値の全ての月平均値を求めた。

3. 下層植物

上記4群落（間伐林は1年目と2年目を区別した）で林床群落を記録した。調査は胸高以下の植物について、1 m × 1 mの小方形区内の被度(%)と植物の高さ(cm)を記録した。これから積算優占度（沼田・依田, 1957）を求めた。しかし積算優占度は群落ごとの相対値であるため、群落間の比較ができない。このため、比較する群落間で最大値を示す構成種に対する相対値である「拡張積算優占度」（山本ほか, 1995）を算出して群落間比較をした（以下これを「積算優占度」とした）。調査日とプロット数は表1に記した。出現した植物は生育型と散布型、送粉型によってその構成を比較した。生育型は沼田（1969）を一部改変し、高木、低木、つる植物（木本、草本を含む）、叢生型（イネ科に代表される細長い葉の植物群でカヤツリグサ科も含む）、大型双子葉草本（双子葉草本のうち、高さがほぼ50 cm以上になるもの）、

小型双子葉草本（双子葉草本のうち、高さがほぼ50 cm未満のもの）、単子葉植物（叢生型を除く）、シダ植物に分けた。

散布型は動物被食散布（種子散布の媒体が哺乳類・鳥類の採食によるもの）、動物体外付着（主に哺乳類の毛などに付着して散布されるもの）、アリ散布、貯食散布（齧歯類などに貯食されるもの）、風散布、自動散布（とくに媒体を持たないもの）、散布型が不明なもの、シダ植物の8群に分けた。

送粉型は風媒花、虫媒花、授粉様式が不明なもの、シダ植物に分けた。

また、4つの群落（間伐林は2年分）において2 m × 2 mの小方形区をそれぞれ10個とり、出現種数を群落間でKruskal-Wallis検定により比較し、5%水準で有意差があった場合、Steel-Dwass事後検定により多重比較した。

植物名は原則として米倉・梶田（2003-）に従った（付記参照）。

4. 訪花昆虫

間伐による下層植物の変化が昆虫による訪花に及ぼす影響を明らかにするために、間伐林、スギ人工林、落葉広葉樹林、伐採地の群落内を通過するルート歩き、目視により虫媒花に訪花昆虫がいることが確認されたら、それを記録した。その場合、調査ルートでの開花の記録はとらなかったため、訪花記録がないものには、開花植物がない場合と、開花植物があったが訪花昆虫が記録されなかった場合とがある。この調査は2014年4月から10月までの毎月1回、7月、8月は月に2回おこな

表2 スギ人工林, 間伐林, 落葉広葉樹林の立木の胸高断面積合計値と密度.

樹種	スギ人工林		間伐林		落葉広葉樹林	
	胸高断面積 (m ² /ha)	密度 (/ha)	胸高断面積 (m ² /ha)	密度 (/ha)	胸高断面積 (m ² /ha)	密度 (/ha)
スギ	82.1	1500.0	54.1	775.0	0.0	0.0
コナラ	0.1	12.5	0.0	0.0	11.1	158.3
ヤマザクラ	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	108.3
ダケカンバ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	8.3
その他	0.5	62.5	0.3	150.0	6.3	358.4
合計	82.7	1575.0	54.4	925.0	28.8	633.3

った。ルートの長さは100 mから410 mで(表1), 同日の調査で午前と午後に同じルートを歩き, 昆虫による訪花が確認されれば, その時刻, スタート点からの距離, 植物名, 昆虫名を記録した。観察された昆虫は双翅目, 鱗翅目, 膜翅目(アリは除く), 鞘翅目, その他に分類し, 植物との組み合わせを集計した。得られたデータから調査した距離10 mごとの訪花数(午前と午後の調査ののべ距離を用いた)を求め, 群落ごとに集計した。その結果をKruskal-Wallis検定により比較し, 5%水準で有意差があった場合, Steel-Dwass事後検定により多重比較した。訪花が確認された虫媒花植物の生育地について比較するために, 各種の代表的な生育地を森林, 草原, 水辺, その他の4つに分けた。ゲンノショウコ(*Geranium thunbergii*)のような空き地や路傍などに生育するものは「草原」とした。またタチツボスミレ(*Viola grypoceras*)のように森林でも草原でも生育する種は「その他」とした。

結 果

1. 樹種構成, 胸高断面積

立木密度はスギ人工林では1575本/ha, 間伐林で925本/haで, 間伐林の方が41.3%少なかった(表2)。また胸高断面積合計はスギ人工林が最大の82.7 m²/haで, 間伐林は54.4 m²/haで, スギ人工林の65.9%であった。落葉広葉樹林の胸高断面積合計は小さく, 28.8 m²/haであった。その内訳はスギ人工林と間伐林ではスギが優占していたが, 落葉広葉樹林はコナラ, ヤマザクラ(*Cerasus jamasakura*), ダケカンバ(*Betula ermanii*)などの落葉広葉樹が主体であった。その結果, 多様度指数H'はスギ人工林が0.074, 間伐林が0.052, 落葉広葉樹林が2.451であった。

2. 微気象

スギ人工林の日ごとの照度の月平均は4月には3900 lx程度, 5月には6900 lx程度であったが, 6月以降急に暗くなって7, 8月には1000 lx台になり, 9月以降

は3000 lx台になった後11月に再び減少するという変化を示した。間伐林では4月に6300 lx程度で, その後徐々に減少し, 8, 9月には3000 lx前後, 10, 11月には1500 lx程度になった(図3a)。両者を比較すると, 植物が生育する春から夏にかけて, 5月を除けば間伐林はスギ人工林よりも2~3倍明るかった。

照度の日毎の最大値の月平均値ではスギ人工林と間伐林の違いが非常に大きく, スギ人工林では春を除けば5000 lx未満であったが, 間伐林では春は10,000 lxを上回り, 夏でも8000 lx程度あった(図3b)。

月平均気温は, 間伐林とスギ人工林で同じ季節パターンを示したが, 間伐林の方が1℃ほど暖かかった(図3c)。

月平均湿度は, 春はスギ人工林の方がわずかに高く, それ以降は間伐林の方がやや高かった(図3d)。

このように間伐によって, 環境が変化したが, 明瞭な変化は林床が明るくなったことであった。

3. 下層植生の種数

4カ所の群落における4 m²での種数をもっとも多かったのが間伐林2年目で22.8種, 以下, 間伐林1年目が20.4種, 落葉広葉樹林と伐採地がいずれも18.8種, スギ人工林が最少で9.2種であった。このうち, 有意差があったのはスギ人工林だけで, 他の4群落すべてと有意差があった(Kruskal-Wallis検定, $\chi^2 = 27.01$, $P < 0.001$, Steel-Dwass検定, スギ人工林-間伐林1年目: $t_2 = -3.792$, $P = 0.001$, スギ人工林-間伐林2年目: $t_2 = -3.792$, $P = 0.001$, スギ人工林-落葉広葉樹林: $t_2 = -3.650$, $P = 0.002$, スギ人工林-伐採地: $t_2 = -3.485$, $P = 0.005$)。しかし, そのほかはすべて有意差がなかった。

4. 下層植物の積算優占度

下層植生の積算優占度はスギ人工林でもっとも小さかった(図4a)。積算優占度は間伐1年目の値はスギ人工林のそれよりやや多く, 2年目で2.5倍になった。この値は落葉広葉樹林を上回り, 伐採地に匹敵した。

1) 生育型による類型

生育型組成を見ると、間伐の翌年（2013年）にはスギ人工林に生育していなかったつる植物や叢生型、大型双子葉草本が出現した（図4a）。間伐の2年目（2014年）になると、これらが増加するとともに、低木ではアブラチャン (*Lindera praecox*)、コシアブラ (*Chengiopanax sciadophylloides*)、ユズリハ (*Daphniphyllum macropodum*) など、叢生型ではチヂミザサ (*Oplismenus undulatifolius*) など、大型双子葉草本ではアキカラマツ (*Thalictrum minus* var. *hypoleucum*) などが出現あるいは増加した（付表1）。

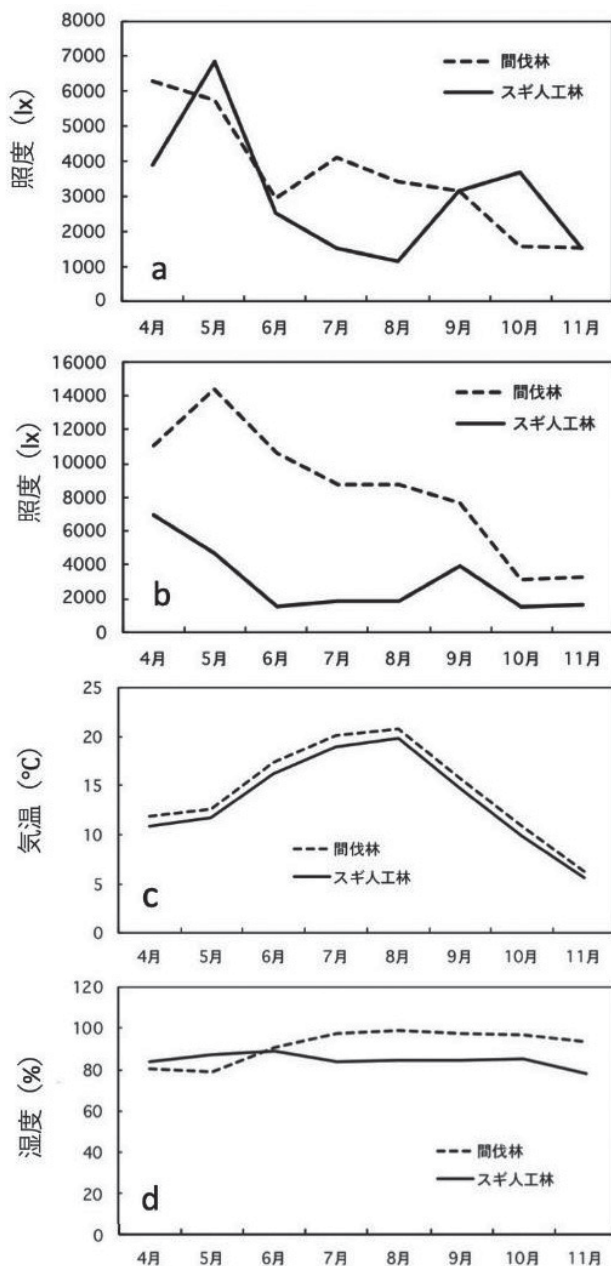


図3 スギ人工林と間伐林の微気象の月平均値の変化。a 照度（明るい時間帯の平均）、b 照度（日最大値の平均）、c 気温、d 湿度。

落葉広葉樹林では、高木ではリョウブ (*Clethra barbinervis*) など、低木ではアブラチャンなど、つる植物ではクワバドコロ (*Dioscorea septemloba*) など、小型双子葉草本ではフキ (*Petasites japonicus*) など、単子葉植物ではツユクサ (*Commelina communis*) など、シダではミゾシダ (*Stegnogramma pozoi* subsp. *mollissima*) などが多かった。

伐採地での生育型の内訳は小型双子葉草本、大型双子葉草本、つる植物、シダなどが多く、いずれも4群落（間伐林は2年分）中で最大であった（図4a）。つる植物ではノブドウ (*Ampelopsis glandulosa* var. *heterophylla*) など、叢生型ではススキ (*Miscanthus sinensis*) など、大型双子葉草本ではヒメジョオン (*Erigeron annuus*)、ヨモギ (*Artemisia indica* var. *maximowiczii*) など、小型双子葉草本ではフキなど、シダではクサソテツ (*Matteuccia struthiopteris*)、シケシダ (*Deparia japonica*) などが多かった。

2) 散布型による類型

間伐林1年目ではスギ人工林と比較して動物被食散布植物、付着散布植物、風散布植物の積算優占度がやや多かった（図4b）。間伐2年目になるとこれらが大幅に増え、特に動物被食散布植物や風散布植物が増えた。落葉広葉樹林は間伐2年目よりも動物被食散布植物が大幅に少なかった。伐採地の積算優占度合計の内訳は大型双子葉植物とシダ植物が多く、動物被食散布植物と高木類が少なかった。

3) 送粉型による類型

間伐林1年目に比較して間伐林2年目には虫媒花植物の積算優占度が著しく増加し、風媒花植物も増えた（図4c）。落葉広葉樹林では間伐林2年目より風媒花植物が少なかった。伐採地では虫媒花植物は間伐林2年目、落葉広葉樹林と同程度であったが、風媒花植物は間伐林2年目より少なく、シダは多かった。

5. 訪花

スギ人工林では昆虫による訪花はまったく観察されなかった（表3）。間伐1年目には訪花昆虫は観察されなかったが、2年目（2014年）には訪花が観察された。間伐林で訪花されていた植物には森林生の植物も草原生の植物もあった。このうちトリアシショウマ (*Astilbe odontophylla*) は訪花数が9回/100 m と多かった。落葉広葉樹林でも森林生の植物と草原生の植物があり、草原生のオオバギボウシ（トウギボウシ, *Hosta sieboldiana*）とクサボタン (*Clematis stans*) が5.6回/100 m と多かった。伐採地では草原生の種の訪花数が非常に多かったが、とくにヒメジョオン（77.1回/

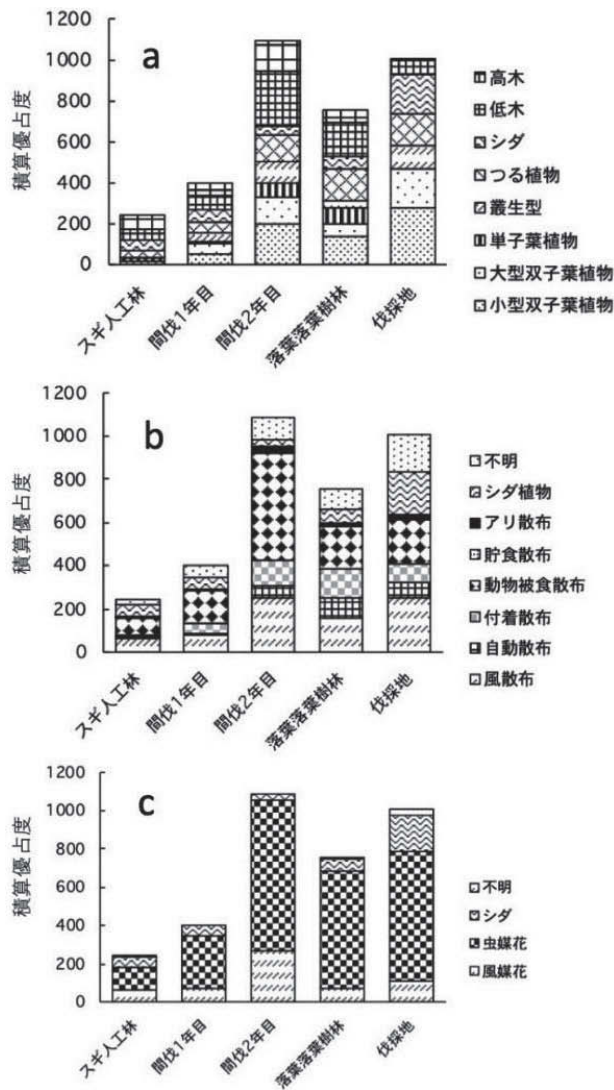


図4 各群落における植物の積算優占度の内訳。 a 生育型ごと、 b 散布型ごと、 c 送粉型ごと。

100 m), フキ (40.2 回 / 100 m), ヒヨドリバナ (19.5 回 / 100 m), オトコエシ (*Patrinia villosa*, 18.3 回 / 100 m) などの訪花数が多かった。

調査期間を通じての訪花頻度は、スギ人工林と間伐林 1 年目ではまったく観察がなく、間伐林 2 年目では 21 回 / 100 m, 落葉広葉樹林が 25.6 回 / 100 m, 伐採地が 214.4 回 / 100 m の順であった (表 4)。訪花頻度は間伐林と落葉広葉樹林の間には有意差がなかったが (Kruskal-Wallis 検定: $\chi^2 = 224.180, P < 0.001$, Steel-Dwass 検定, $t_2 = -0.388, P = 0.920$), 間伐林 (間伐後 2 年目) と伐採地 ($t_2 = -12.149, P < 0.001$), 落葉広葉樹林と伐採地 ($t_2 = -11.790, P < 0.001$) には有意差があった。

群落ごとに昆虫の内訳を見ると、間伐林では双翅目 (42.9 %) と鞘翅目 (33.3 %) が多く、落葉広葉樹林では膜翅目が多く (40.6 %), 伐採地では双翅目が多か

った (44.8 %, 表 4)。

考 察

間伐と下層植生

調査したスギ人工林の胸高断面積合計値は $82.7 \text{ m}^2 / \text{ha}$ であり (表 2), スギ人工林として標準的な値であった (大住ほか, 2000; 竹内, 2005)。間伐によってスギが株密度で半減, 胸高断面積ではほぼ 3 分の 2 になり, 林冠が空いて暗かったスギ人工林は明るくなり (図 3a), 気温が少し上昇した (図 3c) と考えられる。これは輻射熱によるのであろう。針葉樹人工林の間伐による同様な環境変化はこれまでも報告がある (斉藤, 1989; 作田ほか, 2009)。間伐の結果, 下層植生の種数, 積算優占度が大きく増加したと考えられる (図 4a ~ 4c)。この調査は 6 月と 9 月に行ったが, 調査地においては, 植物は 3 月下旬から生育を始め, 一気に生長して 6 月上旬には多くの下層植物は地上部の生長をほぼ終える。その後, 一部の春季植物が消失するとか, 生育がその後も徐々に継続して 8 月頃に最大になるものもあるなどの変化はあるが, 本調査で示そうとした, 群落間の下層植物の種組成, 優占度の比較をするには大きな問題はないと考えられる。間伐林 1 年目ではスギ人工林のおよそ 2 倍の種数の下層植生が見られたが, 間伐 1 年目から 2 年目にかけてその種数は増加しなかった。間伐林における下層群落の種組成は, スギ人工林だけではなく, 落葉広葉樹林とも異なる組成を示し, アブラチャンやコシアブラをはじめとする先駆性の低木や, 明るい場所を好む草本類が多かった。積算優占度は伐採 2 年目に大幅に大きくなった。これは, 1 年目にアブラチャンなどの木本類が光環境の好転により増加し, 多年生草本類が 1 年目に発芽して栄養を蓄え, 2 年目で大きく生長したからだと考えられる。林床植物を種子散布のタイプで整理すると, 間伐林 2 年目では, 動物被食散布型の植物が高い割合を占めていた (図 4b)。その積算優占度 (1088.0) はスギ人工林全体 (241.1) や間伐 1 年目全体 (400.2) の値を大きく上回った (図 4b)。間伐林の中に動物被食散布型の果実が結実できるような成木は確認されなかったことから, これら動物被食散布型植物の種子は, 隣接する落葉広葉樹林や他の群落から動物によって運ばれたか, 埋土種子として休眠していた, あるいはその両方の可能性がある。実際, 針葉樹人工林の林床の埋土種子集団は鳥類によって持ち込まれたとする事例が知られている (佐藤ほか, 2003; 平田ほか, 2006)。

間伐と訪花

下層植物の積算優占度は, スギ人工林ではごく少なか

表3 各植物種の訪花頻度（調査ルート10 m ごとの訪花数）。生息地が多様である種は「その他」とした。訪花なし（0）には調査ルートに虫媒花が開花していない場合と、開花していたが訪花昆虫がいなかった場合を含む。

代表的な生育地	種名	スギ人工林	間伐林1年目	間伐林2年目	落葉広葉樹林	伐採地
森林	アオキ	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
森林	キンミズヒキ	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
森林	アズマイチゲ	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1
森林	ニリンソウ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
森林	サイハイラン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
森林	ナルコユリ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
森林	マユミ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
森林	ウマノミツバ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	ミズタマソウ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	ヤマザクラ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	キツネノボタン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	ヤマトリカブト	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
草原	トリアシショウマ	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0
草原	ゴマナ	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4
草原	オトコエシ	0.0	0.0	0.3	0.0	1.8
草原	イタドリ	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
草原	カシワバハグマ	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
草原	ヒメジョオン	0.0	0.0	0.1	0.1	7.7
草原	クサボタン	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
草原	オオバギボウシ	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1
草原	アキカラマツ	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3
草原	フキ	0.0	0.0	0.0	0.2	4.0
草原	ヒヨドリバナ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
草原	セイヨウタンポポ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
草原	シシウド	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
草原	ノコンギク	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
草原	サラシナショウマ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
草原	メタカラコウ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
草原	アザミ属の1種	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
草原	カラマツソウ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
草原	ニガナ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
草原	オカトラノオ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
草原	ヌカボタデ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
草原	ゲンノショウコ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
草原	ムラサキツメクサ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
草原	ドクダミ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
草原	クサフジ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
草原	ノアザミ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
草原	ミツバツチグリ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
水辺	ツリフネソウ	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0
水辺	ウマノアシガタ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
水辺	ミゾソバ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
水辺	キツリフネ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	タチツボスミレ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
その他	イヌトウバナ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	セリ科の1種	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	ヌスビトハギ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	合計	0.0	0.0	2.1	2.6	21.4

ったが、間伐1年目はスギ人工林よりも多く、2年目には落葉広葉樹林や伐採地並みに増加した（図4c）。その内訳はアブラチャン、コシアブラ、ユズリハ、アキカラマツ、ススキなどであり、ススキ（風媒花植物）を除けばいずれも虫媒花植物であった。したがって、間伐は虫媒花を増加させると考えられる。

訪花昆虫の調査をおこなった結果、スギ人工林でも間伐林1年目でも訪花がまったく確認されなかった（表3）。これは、これらの林には少ないながら虫媒花植物はあったが（図4c）、開花していなかったからである。これに対して間伐林2年目では訪花が確認された（表3）。これは、下層植生で虫媒花植物が増加して開花し、

表4 群落ごとの訪花昆虫の訪花頻度（調査ルート10mごとの訪花数）. 調査期間の全体平均値.

	スギ人工林		間伐林1年目		間伐林2年目		落葉広葉樹林		伐採地	
	頻度	頻度	頻度	%	頻度	%	頻度	%		
双翅目	0	0	0.9	42.9	0.6	25.0	9.6	44.8		
鱗翅目	0	0	0.1	4.3	0.1	3.1	2.9	13.3		
膜翅目	0	0	0.3	14.3	1.0	40.6	2.2	10.4		
鞘翅目	0	0	0.7	33.3	0.5	18.8	5.5	25.6		
その他	0	0	0.1	4.3	0.3	13	1.3	5.9		
合計	0	0	2.1	100.0	2.6	100	21.4	100		

それらに昆虫が多く誘引された結果であると考えられる。

本調査では調査ルートの長さの制約があったこと、森林内では開花した花数が多くないことなどの理由から訪花昆虫の記録数が多くなかった。また昆虫は目レベルでの識別しかなかった。このため、虫媒花の花の構造と昆虫の口吻の関係など精度の高い解析はできなかった。今後は、人工林の間伐が訪花に及ぼす影響をより高い精度で解析する必要がある。

間伐と生物多様性

針葉樹人工林は針葉樹を肥育することを目的に管理される。しかし、その目的だけが重視されると、林内の生物多様性が貧弱になる可能性がある。これは森林の総体を保全するという点からすれば、狭義の経済性に偏った、バランスを欠いたものといえる。針葉樹人工林が国土の27%を占めることを考えれば、重大な問題といえる。

本調査によって、放置されていたスギ人工林の間伐すれば下層植生が豊富になって虫媒花植物が開花し、そこに吸蜜に来る昆虫も増える可能性が示された。生物多様性が貧弱であると考えられていたスギ人工林でも間伐により多くの植物が出現し、訪花が見られたことは驚くべきことであった。このことは、スギ人工林にも、植生とそれに伴う生物多様性機能が回復する可能性があることを示唆する。本調査は長野県における1例ではあるが、今後、同様な研究例が増えることでこのことが確認されることを期待したい。

要 旨

我が国の国土の27%は針葉樹人工林に占められている。林学研究は森林の生産性に力点が置かれ、生物多様性に対する注目度は低かった。本研究は長野県信濃町黒姫のスギ人工林の間伐が林内の気象などの環境要素、下層植生とその花への昆虫の訪花に及ぼす影響を調べた。間伐によって森林の下層部は明るくなった。間伐を行っていないスギ人工林に比べて間伐林では下層植生の積算優占度が1年目に1.7倍と多く、2年目に4.5倍に増加した。間伐林では先駆性の低木と大型双子葉草本が多か

った。また虫媒花植物と訪花数も落葉広葉樹林と同レベルであった。これに対してスギ人工林では訪花昆虫はまったく観察されなかった。本研究はスギ人工林の生物多様性と訪花が間伐によって改善される可能性を示した。
キーワード：間伐、人工林、生物多様性、訪花昆虫

謝 辞

本研究を行うにあたり、一般財団法人C.W.ニコル・アフアンの森財団皆様方には調査を許可いただくとともに便宜を図っていただきました。とくに理事長（当時）のC.W.ニコル氏は本研究に興味を示され、林の管理の仕方によって生物多様性機能が回復することを大いに喜んでくださいました。しかし本論文執筆中の2020年4月3日に永眠されました。これまでのご厚情に感謝するとともにご冥福をお祈りします。同財団の嶋本祐子氏（当時）には調査を行うに当たり便宜を図って頂き、石井敦司様には、人工林や森林管理の方法をご教授頂きました。麻布大学野生動物研究室の岩田翠さん、鷺田茜さん、土屋若葉さんには野外調査を手伝っていただきました。以上の皆様にお礼申し上げます。

文 献

Bhujii, D. and Ohsawa, M. (1999) Species dynamics and colonization patterns in an abandoned forest in an urban landscape. *Ecological Research*, **14**, 139–153.
 平田令子・畑 邦彦・曾根晃一 (2006) 果実食性鳥類の糞の分析と針葉樹人工林への種子散布. *日本鳥学会誌*, **58**, 187–191.
 今井 久 (2006) わが国の森林・林業の現状に関する調査研究. *ハザマ研究年報*, **38**, 1–14.
 伊東宏樹 (2006) 京都近郊のスギ人工林における間伐後の下層植生. *森林応用研究*, **15**, 83–86.
 小谷二郎 (2012) 過密な針葉樹人工林に対する郷土間伐が下層植生の多様性に与える影響. *石川県林試研報*, **44**, 39–41.
 牧野俊一 (2008) 林業地域における生物多様性保全技術. 大河内勇 (編), *森林タイプ・林齢と生物多様性との関係*. 林業科学技術振興所, 東京, pp. 35–42.
 長池卓男 (2000) 人工林生態系における植物種多様性. *日本林学会誌*, **82**, 407–416.

- 沼田 真 (1969) 図説植物生態学. 朝倉書店, 東京, 286p.
- 沼田 真・依田恭二 (1957) 人工林草地の群落構造と遷移 I. 日本草地学会誌, **3**, 4–11.
- 岡部貴美子 (2008) 林業地域における生物多様性保全技術. 大河内 勇 (編), 人工林の間伐と生物多様性との関係. 林業科学技術振興所, 東京, pp. 35–42.
- 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・関 剛 (2000) 秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長過程. 日本林学会誌, **82**, 179–187.
- 林野庁 (2012) 平成 24 年度 森林・林業白書. 林野庁, 東京, 284p.
- 斉藤昌宏 (1989) スギ人工林における林内日射量と林床植生量の関係. 日本森林学会誌, **71**, 276–280.
- 作田耕太郎・谷口 奨・溝上展也 (2009) ヒノキ人工林における帯状伐採が林床の微気象と樹木種の多様性に与える影響. 日本森林学会誌, **91**, 86–93.
- 佐藤重穂・酒井 敦 (2003) 鳥類による種子散布が針葉樹人工林伐採跡地の植生回復に果たす役割. 森林応用研究, **12**, 23–28.
- 竹内郁雄 (2005) スギ高齢人工林における胸高直径成長と林分材積成長. 日本林業学会誌, **87**, 394–401.
- 上森真広・小林徹哉・辻野智之・幸田良介 (2015) 大阪府内のスギ・ヒノキ人工林における間伐前後の光環境と下層植生の変化. 大阪府立環境農林水産総合研究所研究報告, **2**, 16–18.
- 山本嘉人・桐田博充・大賀宣彦・斎藤吉満 (1995) 草地植生の比較を目的とした拡張積算優占度の提案. 日本草地学会誌,

41, 37–41.

- 横井秀一・井川原弘一・渡邊仁志 (2009) 下層植生が衰退したヒノキ人工林における間伐後 2 年後の下層植生の変化—下層植生の発達に対する群状の間伐と強度な間伐の効果—. 岐阜県森林研究所研究報告, **38**, 17–26.

付 記

- C.W. ニコル・アフアンの森財団ホームページ,
[<https://afan.or.jp>] 2021 年 3 月 1 日確認
「BG Plants 和名—学名インデックス」(YList),
[<http://ylist.info>] 2021 年 3 月 11 日確認

追記

本稿の「はじめに」にわが国の林業が材木生産を重視するあまり生物多様性保全を軽視しており, その点を見直す意味で間伐が訪花昆虫に及ぼす影響を調べたと記した. これは大局的に間違いではないが, 論文原稿が受理された後に, わが国の林業でも生物多様性保全を見直す強い動きが始まっていることを知った (柿澤ほか, 2018). 柿澤ほか (2018) によれば間伐の効果などを含め, 大規模な実験が行われ, 特に鳥類の多様性などについて活発な研究が進められているようである.

- 柿澤宏昭・山浦悠一・栗山浩一 (編) (2018) 保持林業—木を伐りながら生き物を守る. 築地書館. 372 p.

付表1 出現植物の生育型、散布型、送粉型と各群落における平均積算優占度。

植物名	生育型	散布型	送粉型	大塚人工林	開伐1年目	開伐2年目	商業産葉樹林	伐採地
ウリカエデ	高木	風散布	風媒花	25.0	0	0	0	0
ウリカエデ	高木	風散布	風媒花	10.3	10.8	11.8	0	1.1
オオヤマモミジ	高木	風散布	風媒花	0	0	0	6.6	0
クマノハスギ	高木	動物糞食散布	虫媒花	0	6.7	27.5	0	0
クリ	高木	貯食散布	虫媒花	0	0	14.2	0	0
コナラ	高木	貯食散布	風媒花	1.1	0	0	1.9	0
コハウチワカエデ	高木	風散布	風媒花	0	10.8	0	0	0
コブシ	高木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	1.9	0
ハコベ	高木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	5.8	0	0
ヒトツバキ	高木	風散布	風媒花	21.9	0	11.3	0	0
ヤマブキ	高木	動物糞食散布	虫媒花	1.1	17.5	39.0	8.6	7.5
ヤマザクラ	高木	動物糞食散布	虫媒花	0	17.5	8.8	0	0
リョウブ	高木	風散布	虫媒花	8.8	0	26.3	40.2	0
アオキ	低木	動物糞食散布	虫媒花	13.4	21.7	17.3	0	0
アキナギ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	21.1	0
アブラモチ	低木	動物糞食散布	虫媒花	17.7	10.8	68.4	43.3	1.1
イボタノキ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	4.7
ガマズミ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	16.9
クマイチゴ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	9.3
クロモジ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	28.7	0	0
コナラ	低木	不明	不明	0	0	0	0	1.1
シロアブラ	低木	動物糞食散布	虫媒花	16.8	0	51.8	0	0
スズ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	19.6
タニウツギ	低木	風散布	虫媒花	0	0	10.0	21.7	0
タラシ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	17.1	24.0	0	0
フルツグ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	21.1	0
ナツハシロ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	18.3
ノボリ	低木	不明	不明	0	6.7	0	0	1.1
ノボリ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	6.7	0	0	0
フユイチゴ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	6.7	0	0	0
マユミ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	8.8	0
ミツハツグ	低木	自動散布	虫媒花	0	0	0	34.2	0
ミヤマニギイチゴ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	10.8	15.0	0
ユズハ	低木	動物糞食散布	風媒花	0	0	62.5	0	0
ツツク	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	8.3	0	2.8
アケビ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	23.3	13.3
イワガラミ	つる植物	自動散布	虫媒花	0	0	7.1	-	0
キクハダコロ	つる植物	風散布	虫媒花	0	0	0	53.3	0
キリン	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	4.7
クササギ	つる植物	不明	不明	0	0	0	4.2	17.8
クササギ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	10.8	10.3
サルナシ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	5.8	0	0
サルナシ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	46.7	0	0	0
シオバ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	1.1	0	0
スイカズラ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	1.9
チョウセンゴケ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	3.3	0	17.6	10.8	0
ツツク	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	6.7	0	13.0	0	0
ツツク	つる植物	不明	不明	0	0	0	0	1.9
ツルムネトキ	つる植物	動物糞食散布	風媒花	1.1	0	23.8	0	0
ツルリンドウ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	1.1	0
ノボリ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	5.4	0	15.4	0	57.5
ヒトリシロツグ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	17.2
フジ	つる植物	自動散布	虫媒花	0	0	0	20.0	0
ツツク	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	6.7	0	13.3	14.7
ミヤマアケビ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	6.7	0	8.8	16.7	17.8
ヤマブキ	つる植物	自動散布	虫媒花	5.4	0	0	1.1	0
ヤマノイモ	つる植物	風散布	虫媒花	0	0	1.9	1.1	2.8
ヤマブキ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	1.1	0	31.9	0	0
アオキ	叢生型	不明	不明	0	6.7	0	0	6.7
オオヤマモミジ	叢生型	自動散布	風媒花	0	0	13.3	0	0
オオヤマモミジ	叢生型	自動散布	風媒花	0	0	27.2	38.3	24.2
ススキ	叢生型	風散布	風媒花	0	0	0	0	51.3
チヂミザサ	叢生型	付着散布	風媒花	4.4	29.4	60.1	0	16.7
ススキ	叢生型	不明	不明	0	0	0	0	6.7
ヒメカサネ	叢生型	自動散布	風媒花	0	6.7	0	0	0
ヤマブキ	叢生型	不明	不明	0	0	0	0	1.1
アケビ	大型双子葉草本	風散布	風媒花	0	0	27.5	14.6	11.1
アケビ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	40.8	0	0
アケビ	大型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	1.1	0	0
アケビ	大型双子葉草本	不明	不明	0	0	0	0	24.8
イタドリ	大型双子葉草本	不明	不明	0	0	0	0	25.8
ササノハ	大型双子葉草本	不明	不明	0	0	0	23.3	-
ササノハ	大型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	17.3	16.9	11.1
トビ	大型双子葉草本	不明	不明	0	6.7	0	0	0
ハタアザミ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	0	33.3
ヒメシロ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	5.4	1.9	0	48.8
ヒトリシロ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	46.7	37.3	0	0
ヨツメ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	8.8	0	0
ヨツメ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	0	62.1
オオヤマモミジ	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	15.0	4.6	-
アリハダ	小型双子葉草本	不明	不明	0	5.4	8.6	-	-
イタドリ	小型双子葉草本	自動散布	虫媒花	0	0	0	0	7.5
イタドリ	小型双子葉草本	不明	不明	0	0	0	0	21.7
イタドリ	小型双子葉草本	付着散布	不明	0	0	0	0	16.9
クマノハ	小型双子葉草本	付着散布	風媒花	0	0	13.3	6.5	1.1
オオヤマモミジ	小型双子葉草本	不明	不明	0	0	0	0	12.9
オオヤマモミジ	小型双子葉草本	付着散布	風媒花	0	0	8.8	0	0
オオヤマモミジ	小型双子葉草本	不明	不明	0	6.7	24.4	0	0
オオヤマモミジ	小型双子葉草本	不明	不明	0	6.7	12.2	0	2.8
オオヤマモミジ	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	30.0	0	0
カタバ	小型双子葉草本	自動散布	虫媒花	0	0	0	0	5.0
カタバ	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	1.9	0
カタバ	小型双子葉草本	不明	不明	0	0	0	0	8.6
カタバ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	0	0	12.5
カタバ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	1.1	0	8.6	0	0
ヨツメ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	0	5.4	0
オオヤマモミジ	単子葉植物	風散布	虫媒花	0	0	30.0	0	0
ヨツメ	単子葉植物	不明	不明	0	0	-	10.8	0
ヨツメ	単子葉植物	不明	不明	16.7	6.7	39.1	53.3	0
ヨツメ	単子葉植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	14.2	0
シダ	シダ	シダ	シダ	33.3	0	10.8	0	0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	40.0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	42.5
クササギ	シダ	シダ	シダ	4.4	0	0	0	8.6
クササギ	シダ	シダ	シダ	1.1	0	0	0	0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	10.8	25.8	0	0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	1.1	9.3
クササギ	シダ	シダ	シダ	15.8	0	0	0	0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	10.8	0	0	0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	16.9	0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	25.0	0	0	0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	18.3
クササギ	シダ	シダ	シダ	4.4	0	0	0	26.1
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	10.8	0	45.8	0
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	9.6
クササギ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	35.8

標高 110 m の海食崖頂部におけるイソカニムシの記録

柏木 健司^{1)*}・佐藤 英文²⁾***Garypus japonicus* Beier, 1952 (Arachnida: Pseudoscorpiones: Garypidae) from approximately 110 m above sea level at the sea cliff crest in Japan**Kenji KASHIWAGI^{1)*} and Hidebumi SATO²⁾**Abstract**

A living pseudoscorpion (*Garypus japonicus* Beier, 1952) was collected on August 28, 2020 from Shimono-zaki Cape along the western coast of the Shimokita Peninsula in Aomori Prefecture, northeastern Japan. The sampling location was located approximately 110 m above sea level at the sea cliff crest, which is the highest recorded habitat in Japan until now. The occurrence of pseudoscorpion at Shimono-zaki Cape as observed in the present study and its occurrence records with detailed topographic data are well investigated. The habitat of pseudoscorpion is mainly supratidal zone and its higher sea cliffs ranging from several meters to ten and several meters high, and in a few cases, reaching to several tens of meters to over 100 meters high along sea cliff. In addition, it is the important factor for its inhabiting environment that sea cliff is made up consolidated rock mass with open fractures.

Key words: Pseudoscorpiones, Garypidae, *Garypus japonicus*, Shimokita Peninsula, sea cliff

(2021 年 4 月 23 日受付, 2021 年 10 月 8 日受理, 2022 年 1 月 5 日発行)

はじめに

イソカニムシ *Garypus japonicus* Beier, 1952 は、節足動物門クモガタ綱カニムシ目イソカニムシ科の一種である。その体長は 3.5–5 mm と微小であるものの、カニムシ目の中では比較的大型の種である。琉球列島から九州、四国、本州、北海道に至り、海浜上の海浜礫や海食崖表面の割れ目間隙などで主に確認されている (Beier, 1952; Morikawa, 1960; 森川, 1969; 佐藤, 1978a, b; 澤田, 1995)。最近、韓国仁川広域市の海岸で生体 1 個体が確認され、朝鮮半島での広域的な分布の可能性に加え、海流を介しての分布の拡散が指摘さ

れた (木村・大平, 2019)。本種は、これまで確認されている生息環境に基づき、一般に海岸動物の一種として広く認識されている。例えば、西村 (1995) は「原色検索日本海岸動物図鑑 [II]」の冒頭で、収録動物群の生息環境の垂直分布として、“潮上帯から水深 20–30 m までのあいだに見出されるもの”と記し、イソカニムシを本書中に掲載した。また、本種の生息がこれまで記録された標高は、文献に記述によると標高 10 m 内外より低いことがほとんどと判断される。一方、神奈川県藤沢市江の島では標高 45 m の海食崖頂部での採集事例がある (佐藤, 1978a)。

筆頭著者は 2020 年 8 月 28 日、青森県下北半島西岸

¹⁾ 富山大学理学部生物圏環境科学科 〒930-8555 富山市五福 3190

Department of Environmental Biology and Chemistry, Faculty of Science, University of Toyama; 3190 Gofuku, Toyama 930-8555, Japan

* Corresponding author: kasiwagi@sci.u-toyama.ac.jp

²⁾ 〒223-0058 横浜市港北区新吉田東 8-23-13

8-23-13 Shin-Yoshida-Higashi, Kohoku-Ku, Yokohama, Kanagawa 223-0058, Japan

に沿う佐井村下ノ崎において、標高 110 m の海食崖頂部の岩盤中の開口した割れ目面から、イソカニムシの生体 1 個体を採集した。この標高値は、本種の生息が確認された標高としては飛び抜けて高い。本稿では、その採集地点の環境の概要を示すとともに、江の島を含む既存研究での本種の生息環境を見直し、本種の生息環境について議論する。

調査地域の地勢

イソカニムシを確認した青森県佐井村下ノ崎は、青森県下北半島西岸の中間付近に位置する。下北半島西岸は津軽海峡に面し、その沖合には対馬暖流の分流が日

本海側から津軽海峡を経て太平洋側へ抜けている。北端の大間町大間崎から南端のむつ市北海岬に至り、北北東-南南西に延びる海岸線沿いには比高数 10 m から 100 m 超の海食崖が連続する。下ノ崎は西南西方向に津軽海峡に岬状に突出し、南西-北東方向に伸びる比高 110-130 m の海食崖と南側の比高 50 m の海食崖に挟まれる (Fig. 1)。岬の尾根は南西-北東の海食崖に沿って、北東端の標高 130 m から南西に標高 70 m 付近まで緩やかに標高を減じる。下ノ崎周辺には強い変成作用を受けた付加体堆積岩類である長浜層が局所的に露出し、チャートや砂岩、緑色岩や石灰岩の大小様々なブロックを粘板岩中に含む混在岩相がみられる (上村, 1975; 根本・氏家, 2009)。

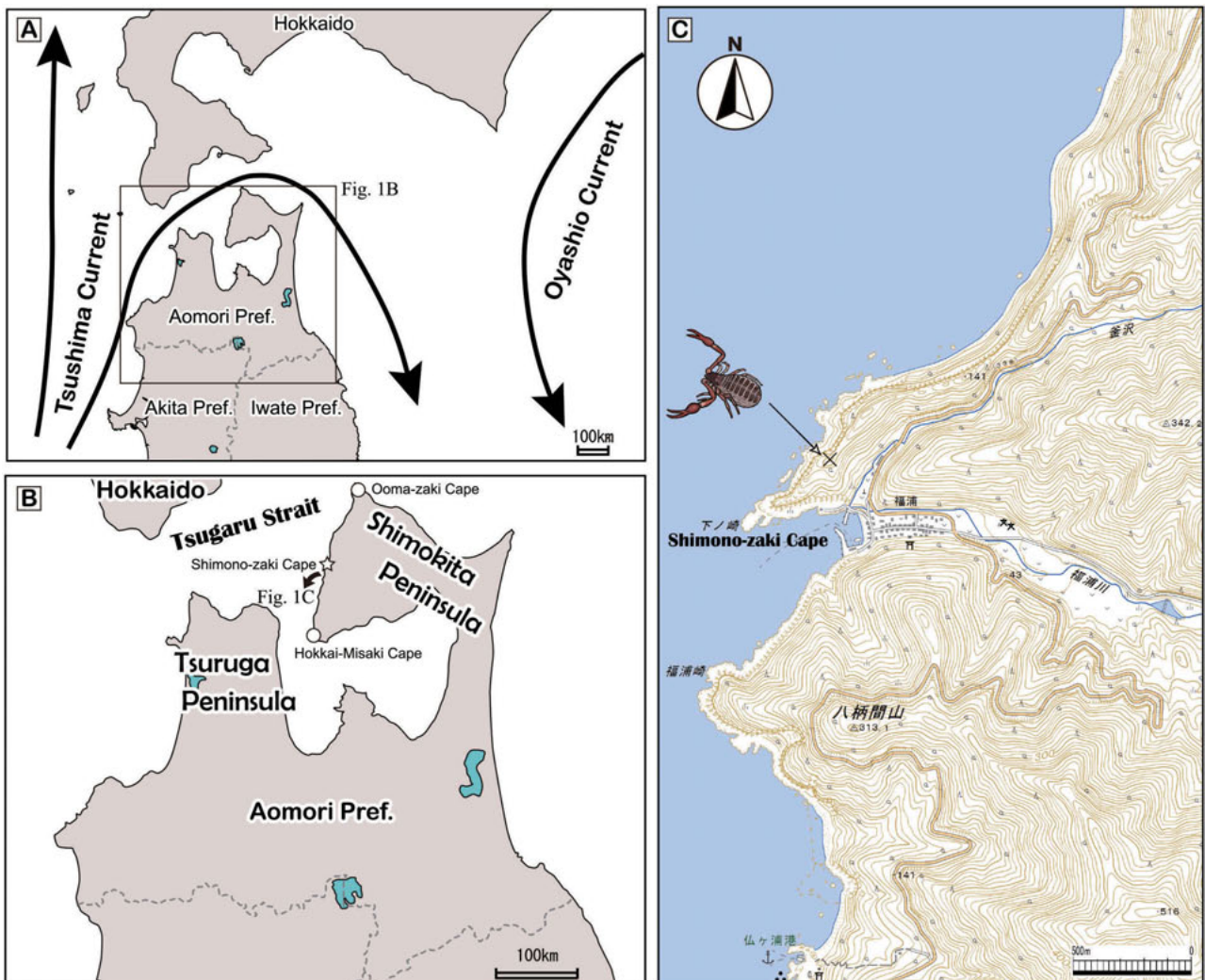


Figure 1. Geographic condition of the study area, Shimono-zaki Cape, along the western coast of the Shimokita Peninsula in Aomori Prefecture, northeastern Japan.

A, Current system surrounding northern Tohoku and southern Hokkaido; B, Localities cited around Tsugaru Strait in the present study: Shimono-zaki Cape where a living pseudoscorpion (*Garypus japonicus* Beier, 1952) was collected; C, Topographic map of Shimono-zaki Cape and its surrounding area. Sampling location of a pseudoscorpion in Shimono-zaki Cape is indicated by the black cross with an illustration of a pseudoscorpion. The base map is a 1:25,000 digital topographic map that was originally published by the Geospatial Information Authority of Japan.

イソカニムシの採集状況と飼育結果

2020年8月28日、下ノ崎において長浜層中の廃坑を対象とする、哺乳類の洞窟利用に関する調査の際に、イソカニムシを採集した。採集地点は、下ノ崎のうち南西-北東方向に伸びる海食崖頂部の標高 110 m 地点で (Fig. 1C), そこから北西には急崖をなす海食崖から直下の海岸線,そして津軽海峡をのぞむことができる (Fig. 2A, 2B)。海食崖頂部に露出する岩盤から、開口幅数 mm の割れ目で囲まれた岩石試料をロックハンマーで

採取した際に、岩石試料の割れ目面上にイソカニムシの生体 1 個体を確認し採集した (Fig. 2C-2E)。この時点で、体サイズと鋏状の触肢より採集個体はカニムシ類と断定したものの、第一著者はカニムシ類に関する十分な知識を持ち合わせていなかったため、巣の存在を含め関連する確認を現地で十分に実施しなかった。なお、イソカニムシを確認した割れ目は、節理や断層などの造構性割れ目ではなく、堆積性の層理面が転化した割れ目で、細かい不規則な凸凹を伴っていた。

イソカニムシ生体は、翌日の 8 月 29 日に富山に持



Figure 2. Field photographs of the sampling location of the pseudoscorpion. All photos were taken on August 28, 2020.

A, Sea cliff crest with sampling location of the pseudoscorpion (white circle); B, Panoramic view from the sampling location on the sea cliff crest; C, Outcrop where the pseudoscorpion was collected. Rock mass surrounded by open fractures are indicated by a white arrow; D, The pseudoscorpion on the surface of an open crack; E, Enlargement of Fig. 2D.



Figure 3. Pseudoscorpion kept in a glass bottle. A, General view of a glass bottle for storing the pseudoscorpion. Terrarium soil of a few millimeters thick is paved along the bottom of a glass bottle, and a fragment of a dried leaf was placed on the terrarium soil. The pseudoscorpion is normally under a dried leaf in such keeping environment. For the photo, the pseudoscorpion was placed onto a dried leaf intentionally. A few termites (*Reticulitermes speratus*) were added as living prey for the pseudoscorpion; B, failed attempt by the pseudoscorpion to catch a termite, which moved away.

ち帰って後、写真を基に第二著者により雌と判断された (Fig. 2E)。その後、第一著者はガラス瓶 (底面直径 7 cm, 高さ 8 cm) 内にテラリウムソイルを数 mm の厚さに敷き詰め、枯れ葉を一枚入れた状態で、生餌としてヤマトシロアリ *Reticulitermes speratus* を与えて概ね乾燥状態で飼育していた (Fig. 3)。2021 年 1 月 26 日の生息確認を最後に、1 月 28 日に死亡を確認し、飼育日数は 150 日間であった。1 月 29 日、個体の写真撮影と計測をデジタルマイクロスコープ (VHX-

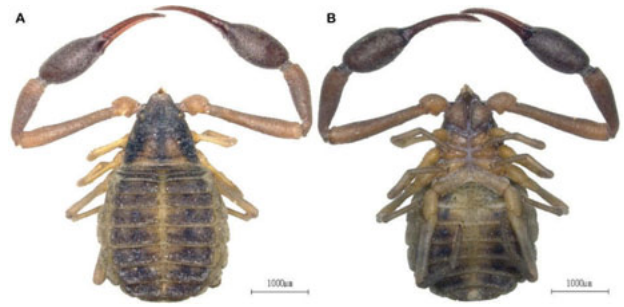


Figure 4. Pseudoscorpion specimen collected at the sea cliff crest of 110 meters above sea level along the western coast of the Shimokita Peninsula. A, dorsal view; B, ventral view.

700FSP1344, キーエンス製, 富山大学) で行った。本個体の体サイズは体長 3.8 mm, 体幅 2.3 mm である (Fig. 4)。なお、本個体の標本は兵庫県立人と自然の博物館に収蔵する。

考 察

青森県下北半島西岸の海食崖頂部の標高 110 m 地点で、2020 年 8 月 28 日にイソカニムシ 1 個体を採集した。この標高値は、本種でこれまで報告されている採集標高を大幅に上回る記録である。以下では、本種が海食崖の頂部で採集された下ノ崎と江の島の記録について、地形地質と生息環境の視点から比較する。次に、これまでの記録による採集地点の生息環境を地形的特徴に基づいて整理し、本種の主たる生息環境について言及する。

青森県下ノ崎と神奈川県江の島の比較

佐藤 (1978a) は神奈川県藤沢市江の島の海食崖頂部の標高 45 m 地点で、イソカニムシの生息を確認した。江の島は、藤沢市の沖合約 200 m に位置する、東西約 1250 m で南北約 600 m の小島で、その最高点は標高 60.2 m である。島の西半分の海岸線沿いに連続する海食崖は、北岸で比高 30 m, 南岸で比高 30–50 m である。新第三紀中新世中期 (約 1500 万年前) の葉山層群大山層の凝灰岩類が海食崖の急崖を構成し、層厚数 m の関東ローム層が急崖頂部に水平に堆積している (小田原, 2020)。佐藤 (1978a) によると、イソカニムシの発見場所は“ふつう最上部に近くなるほど草が多く繁り、草の間に露出した岩石上でみつかった”とあり、その発見場所は大山層最上部から関東ローム層の露出範囲であったと考えられる。下ノ崎と江の島の海食崖はそれぞれ、海岸線沿いには岩礁が広がり、その背後で急崖をなしている。また、それぞれでイソカニムシは海食崖の頂部付近で発見された。海食崖の比高は両者で大きく異なるものの、両地点の地形的特徴には共通性が見て取れ

る。一方、急崖に露出する地層は岩型と年代で明確に異なり、下ノ崎には中生界付加体堆積岩類（約 2 億年前 - 1 億 4600 万年前）が、江の島には中新統凝灰岩類（約 1500 万年前）が露出している。ただし、両者は広義に固結した岩盤であり、しばしば開口割れ目を伴う点で、共通の岩盤的特徴を有する。僅か 2 事例であるものの、数 10 m から 100 m 強にいたる高標高でのイソカニムシの生息環境として、岩礁の背後に急崖をなす海食崖が広がり、海食崖は開口割れ目を伴う固結岩盤からなる点が挙げられる。また、急崖をなし開口割れ目を形成する岩型であれば、地層の形成年代は必ずしも重要な要素ではない。

イソカニムシの生息が認められない環境として、佐藤 (1978a) は地衣類が生息する日あたりが悪く湿潤な環境、樹木で日光が遮られた環境、海水が被る環境、および海食洞内などを挙げた。一方、イソカニムシの生息が確認された環境として、日当たりが良好で岩石がよく乾燥していた環境を示し、日射と乾燥が十分であれば、生息環境に崖の勾配や海との距離などによる差異は認められないとした。下ノ崎の海食崖頂部は、調査を実施した 8 月末の午前中において、日射は十分に確保されていた点と、割れ目面は目視で湿潤状態でなく乾燥状態にあった。このような環境条件は、佐藤 (1978a) の指摘したイソカニムシの生息環境に整合的であった。また、割れ目面は多少なりとも凸凹を伴っていた。イソカニムシの生息する割れ目面の性状については、詳しい記載は既存文献にはみられず、比較検討は今後の課題である。

イソカニムシの生息環境

イソカニムシの生息環境が、幾つかの採集報告中に記されている。以下では、採集地点の地形情報が読み取り可能な報告を参照して、本種の生息環境について考察したい。佐藤 (1978a) は神奈川県江の島の海食崖のうち、標高 1-15 m の岩盤の割れ目に本種を多数確認した。とくに、標高 3 m より高位で相対的に多く、潮間帯では全く発見できなかったことを報告した。Choi and Hwang (2009) は、島根県隠岐郡竹島の海岸で、高潮線より高い位置の礫や岩屑の下と、海浜背後の海食崖表面に割れ目に、雄 1 個体と雌 1 個体の計 2 個体を報告した。大串ほか (1980) は、石川県輪島市能登七ツ島群島大島東岸において、多数のイソカニムシの産出を報告した。論文中に図示された採集地点を、国土地理院の電子地形図と Google Earth Pro で確認すると、北東方向に波打ち際へと続く谷の出口付近の、径数 10 cm ~ 数 m の巨礫が散在する地点で、標高数 m 内外の潮上帯と判断できる。恐らく、堆積していた大礫径の礫の裏面から発見されたと考えられる。山内 (2006, 2010) は、青森県の津軽半島から下北半島に至る海岸沿いの 7

地点と北海道の 1 地点の計 8 地点で、イソカニムシの生息を報告した。記録地点の地形に関する記述に不正確な点を多く含むため、正確な判断には困難を伴うものの、恐らくは礫浜で採集されたものと判断した。松田 (2018) は、山口県下関市の海岸沿いの 13 地点で、潮上帯から本種を報告した。岩礁の割れ目間隙ないし転石の下、礫浜の転石の下、砂浜の打ち上げ発砲スチロールと流木の下、および海浜植物帯の石の下などが、本種の生息環境として挙げられた。一澤ほか (2012) は、鳥取県浦富海岸鴨ヶ磯の遊歩道の階段付近で本種を採集し報告した。正確な地点を論文の記述から読み取ることは難しいものの、電子地形図を基に判断する限り、採集地点は潮上帯ないしそれより高位と判断できる。以上の報告において、イソカニムシが採集された環境は、潮上帯ないしそれより高位で、潮間帯は含まれていない。

ところで、Morikawa (1960) と森川 (1969) は本種を塩性種に分類し、海浜沿いの潮間帯付近の岩の裂け目に生息するとし、本州の太平洋側から瀬戸内海に至り、イソカニムシの潮間帯からの産出を報告した。しかし、それぞれの採集地点の詳しい地形記載は記録として残されなかった。Morikawa (1960) の既報告地点については今後、生息環境の地形情報の詳細な確認が必要と思われるものの、1970 年代以降の本種の採集記録を参照する限り、イソカニムシの生息環境に潮間帯は含まれない可能性が極めて高い。イソカニムシは、その生息環境として潮上帯に加え、岩礁の背後に位置する標高数 m から十数 m の海食崖を主とし、わずかに 2 事例に留まるものの海食崖沿いに数 10 m から 100 m 強に達する高い標高が挙げられる。海食崖を構成する地層は、固結した岩盤で開口割れ目を伴うことも、本種の生息環境の重要な要素の一つに挙げられる。

まとめと今後の課題

青森県下北半島西岸の佐井村下ノ崎で、2020 年 8 月 28 日にイソカニムシ 1 個体の生息を確認し採集した。確認地点は、下ノ崎の北西を縁取る海食崖頂部の標高 110 m に位置する硬質岩盤の開口割れ目沿いで、本種においてこれまでの最高地点での採集記録となる。本種の生息環境は主に、潮上帯を含み垂直方向に海食崖の表面に沿って標高数 m から十数 m で、稀に海食崖に沿って数 10 m から 100 m を超える高位に達する。また、海食崖を構成する地層は開口割れ目を伴う固結した岩盤であることも、本種の生息環境として重要である。ところでイソカニムシの生息環境に関して、読み取り可能な地形記載を伴う確実な潮間帯からの記録は、既存文献中に見出すことができなかった。今後、採集地点の詳細な地形記載を蓄積することで、本種の生息環境のより具体

的な解明が望まれる。

謝 辞

富山大学理学部生物学科の前川清人准教授には生餌のヤマトシロアリを提供して頂いた。カモシカ工芸（青森県むつ市脇野沢）の木下哲夫氏には、廃坑調査の折に下ノ崎を案内して頂いた。イソカニムシのアイコンはイラストレーターの杉田絵美さん（富山市）に作成して頂いた。入林と土石採集に際して、青森県下北森林管理署と自然保護課に許可を頂いた。富山大学自然科学研究支援ユニット機器分析施設の山田 聖技術職員には、デジタルマイクロスコープの使用に際してご助力を頂いた。編集委員の鈴木 武氏ならびに1名の匿名の査読者には有意義なご指摘を頂いた。本研究の一部に科研費（基盤研究C, 19K06863, 平成31-令和3年度）を使用した。以上の方々と機関に深く謝意を表す。

要 旨

青森県下北半島西岸の下ノ崎で、イソカニムシ (*Garypus japonicus* Beier, 1952) の生体一個体を、2020年8月28日に採集した。採集地点は、海食崖頂部の標高約110 m地点に位置し、本種のこれまでの最も高い標高での記録であった。下ノ崎での採集地点に加え、地形情報が明確に記されている既存の記録を参照すると、イソカニムシの生息環境は主に潮上帯と標高数mから十数mに至る海食崖沿いであり、稀な事例として海食崖沿いの数十mないし100 mを越す高標高地点も含まれる。加えて、海食崖が開口割れ目を伴う固結岩盤である点も、生息環境の重要な要因である。

文 献

Beier, M. (1952) Eine neue Garypus-Art (Pseudoscorp.) aus Japan. *Zoologischer Anzeiger*, **149**, 235–239.

Choi, E. H. and Hwang, U. W. (2009) First record of maritime pseudoscorpion *Garypus japonicus* (Garypidae) from Korea. *Korean Journal of Systematic Zoology*, **25**, 261–264.

一澤 圭・林 成多・鶴崎展巨 (2012) 浦富海岸鴨ヶ磯（鳥取県）のクモガタ類・多足類・陸生等脚類. 山陰自然史研究, **7**, 9–14.

木村一貴・大平 創 (2019) 朝鮮半島におけるイソカニムシ *Garypus japonicus* の発見報告. *Edaphologia*, **105**, 25.

松田真紀子 (2018) 下関市の海岸性節足動物の分布と生態. 豊田ホタルの里ミュージアム研究報告書, **10**, 131–143.

Morikawa, K. (1960) Systematic studies of Japanese pseudoscorpions. *Memoirs of the Ehime University, Section II, (Sciences), Series. B (Biology)*, **4**, 85–172.

森川国康 (1969) 節足動物 蛛形綱 擬蠍目. 岡田 要・内田清之助・内田 亨 (監), 新日本動物圖鑑〔中〕第三版, 北隆館, 東京, pp. 342–346.

西村三郎 (編) (1995) 原色検索日本海岸動物図鑑〔II〕. 保育社, 大阪, 663 p.

根本直樹・氏家良博 (2009) 青森県の地質. *大地*, **50**, 52–68.

小田原啓 (2020) かながわ露頭マップ〜江の島〜. 神奈川県温泉地学研究所観測日より, **70**, 25–28.

大串龍一 徳本 洋・江口元章 (1980) 能登七ツ島の陸上動物相. 日本海域研究所報告, **12**, 33–48.

佐藤英文 (1978a) 海岸性カニムシの生息環境. *Atypus*, **71**, 45–48.

佐藤英文 (1978b) 日本産カニムシ分布資料 I. *Atypus*, **72**, 39–42.

澤田高平 (1995) クモ形綱. 西村三郎 (編), 原色検索日本海岸動物図鑑〔II〕, 保育社, 大阪, pp. 6–33.

上村不二雄 (1975) 陸奥川内地域の地質. 地域地質研究報告, 5万分の1図幅, 地質調査所, 茨城, 39 + 8 p.

山内 智 (2006) 青森県のイソカニムシの分布について. 青森自然誌研究, **11**, 44.

山内 智 (2010) 青森県平内町夏泊半島のイソカニムシの記録. 青森自然誌研究, **15**, 62.

付 記

国土地理院の電子地形図 (2021年1月9日閲覧)
<https://dkgd.gsi.go.jp/dkcx/page1.htm>

播磨灘・周防灘沿岸における海岸植物 20 種のフェノロジー観察記録

黒田有寿茂¹⁾

Phenological observations of 20 coastal plant species in coastal areas of the Harima-nada and Suo-nada Seas, western Japan

ASUMO KURODA¹⁾

Abstract

Phenological observations were performed monthly for 20 coastal plant species between July 2018 and March 2020 in coastal areas of the Harima-nada and Suo-nada Seas, located in the Setouchi region, western Japan. According to their habitats, the coastal plant species observed were classified into three types: the salt marsh type (*Triglochin asiatica*, *Juncus gracillimus*, *Carex scabrifolia*, *Fimbristylis sieboldii*, *Phacelurus latifolius*, *Zoysia sinica* var. *nipponica*, *Limonium tetragonum*, *Atriplex patens*, *Bassia littorea*, *Suaeda malacosperma*, *Suaeda maritima* subsp. *asiatica*, *Artemisia fukudo*, *Tripolium pannonicum*, *Hibiscus hamabo*), the rocky coast type (*Euphorbia jokinii*, *Dianthus japonicus*, *Chrysanthemum japonense*, *Peucedanum japonicum* var. *japonicum*), and the beach-dune type (*Polygonum polyneuron*, *Suaeda glauca*). The time and duration of leafing, flowering, and seed dispersion were summarized for each species.

Key words: flowering, halophyte, leafing, phenology, seed dispersion, Seto Inland Sea

(2020年11月10日受付, 2021年5月6日受理, 2022年1月5日発行)

はじめに

日本産野生植物のフェノロジー（生物季節）については、学術論文、植物図鑑、一般書籍、インターネット上の資料などを参照することにより多くの情報を得ることができる。しかし、展葉、開花、結実などを経て、種子散布や落葉へと至る一連の季節変化や現象を、実際の継続的な観察にもとづいて報告した事例は必ずしも多くない。そのようなフェノロジーに関する情報は対象種の生態についての理解だけでなく、生物群集の多様性や生物間相互作用を生み出すメカニズムの解明、生態系の機能の評価やその保全策の検討などに向けた基礎情報としても有用と考えられる（工藤，2008）。著者は既報で山陰海岸東部における海岸植物のフェノロジー観察記録をと

りまとめ報告した（黒田，2021）。本稿はこれに続き、瀬戸内地方の播磨灘・周防灘沿岸における観察記録をとりまとめたものである。

調査地域

調査は播磨灘に面する兵庫県南西部の海岸域と周防灘に面する山口県南部の海岸域で行った（図1）。両者はいずれも暖温帯下部に含まれ、播磨灘沿岸の海岸域では年間および冬季に降水量の少ない瀬戸内式気候が顕著である。兵庫県南西部に位置する郡家観測所（兵庫県淡路市、標高5 m）と山口県南部に位置する防府観測所（山口県防府市、標高4 m）における1981–2010年の年平均値を調べたところ、年平均気温はそれぞれ15.9℃、

¹⁾ 兵庫県立大学自然・環境科学研究所 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目
Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo; 6 Yayoigaoka, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan
kuroda@hitohaku.jp

15.6 °C, 最寒月 (1 月) の平均気温はそれぞれ 5.6 °C, 4.7 °C, 年降水量はそれぞれ 1093.1 mm, 1637.2 mm であった (気象庁「各種データ・資料」, 付記を参照). いずれの海岸域においても海食崖などの岩石海岸を除き土地改変が進んでおり, 砂質海岸や塩性湿地は小規模なものがほとんどである.

方 法

本研究では, 海岸植物の中でも塩性湿地や汽水域を主な生育地とする「塩生植物」を, 一日内により多く効率的に観察できるように, 播磨灘沿岸および周防灘沿岸それぞれにおいて数ヶ所の海岸域 (河口および入江) を選定した. 調査対象には環境省のレッドリスト (環境省「レッドリスト」, 付記を参照) に掲載されている絶滅危惧種 (シバナ, ヒロハマツナ, フクドなど) も含まれているため, これらの保全に配慮し, 海岸域の名称や地理的位置などの情報は伏せる.

選定した海岸域の塩性湿地, 汽水域とその周辺の海崖や砂浜において, 2018 年 7 月から 2020 年 3 月にかけて, 海岸植物の生育状態 (展葉, 開花, 種子散布など) を毎月観察・記録した. 一部の海岸植物について, 同期間中に開花期や種子散布期を把握することができなかったため, 2020 年 4 月から 9 月にかけて補足的に調査を行った. 観察対象に一年草や地下茎の横走により広がる種が含まれること, 海岸域が高潮や河川の氾濫など不測の攪乱を受けやすい環境であることから, 本研究では特定の個体をモニタリングするのではなく, 個体群全体を見て生育状態を記録するようにした. 海岸植物の定義は澤田ほか

(2007) の「海と陸との境界部に特有の立地 (砂浜, 砂丘, 塩湿地, 河口汽水域, 海崖, 岩場, 浅海域など) を主な生育地とし, それ以外の立地にはほとんど出現しない在来の維管束植物」に従い, 同研究のチェックリストに記載された種を海岸植物として扱った. 調査の前年度から当年度にかけての気象に関する参考データとして, 郡家観測所および宇部観測所における 2017 年 4 月から 2020 年 3 月の日別の平均気温, 最高気温, 最低気温, 日較差 (一日の最高気温と最低気温の差), 降水量を付図 1, 付図 2 にそれぞれ示す.

観察した計 20 種の海岸植物を, 澤田ほか (2007) および中西 (2018) を参考に, 前述の「塩生植物」, 海岸の岩場, 岩斜面, 古い崩壊地などを主な生育地とする「海岸崖地植物」, 砂浜や砂丘を主な生育地とする「海浜植物」のいずれかに区分し, 各種の展葉, 開花, 種子散布などの時期をとりまとめた. なお 20 種のうち, シバナ, ドロイ, シオクグ, イソヤマテンツキ, アイアシ, ナガミノオニシバ, ハマサジ, ホソバハマアカザ, ハママツナ, フクド, ハマナデシコ, ノジギク, アキノミチヤナギ, マツナについては主に兵庫県南西部の海岸域, イソホウキギ, ヒロハマツナ, ウラギク, ハマボウ, イワタイゲキ, ボタンボウフウについては主として山口県南部の海岸域で観察・記録を行った.

結 果

以下, 各種の展葉, 開花, 種子散布などの時期を写真 (写真 1-20, 撮影はいずれも本稿の著者による) と合わせ示す. これらは特定の地域・期間で認められた傾向であ



図 1 播磨灘と周防灘の位置. 調査はそれぞれの海域に面する兵庫県南西部と山口県南部の海岸域で行った.

り、必ずしも一般化できるものではないが、表現を簡素化するため現在形で記述した。一部の種については開花・結実後の生育状態についても言及した。科の配列は米倉(2012)に従い、塩生植物は草本、木本ごとにまとめた。学名は米倉・梶田「BG Plants 和名-学名インデックス (YList)」(付記を参照)に従った。

塩生植物

シバナ *Triglochin asiatica* (Kitag.) A. et D.Löve (写真 1)

シバナ科 Juncaginaceae シバナ属の多年草。3月に葉が伸び始め、9月から10月に開花する。果実は分離果で、10月下旬頃より散布される。葉は秋季より褐変し、1月下旬頃には全体が枯れるが、緑葉を保つ個体も一部見受けられた。

ドロイ *Juncus gracillimus* (Buchenau) V.I.Krecz. et Gontsch. (写真 2)

イグサ科 Juncaceae イグサ属の多年草。3月に葉が伸び始め、5月から6月に開花する。果実は蒴果。7月上旬頃より果皮が裂開し、種子が散布される。葉は夏季より黄変し、12月下旬頃には全体が枯れる。

シオクグ *Carex scabrifolia* Steud. (写真 3)

カヤツリグサ科 Cyperaceae スゲ属の多年草。4月から5月に開花する。果実は瘦果で、6月上旬頃より果胞に包まれた状態で散布される。葉のフェノロジーははっきりしなかった。

イソヤマテンツキ *Fimbristylis sieboldii* Miq. ex Franch. et Sav. (写真 4)

カヤツリグサ科 Cyperaceae テンツキ属の多年草。3月に葉が伸び始め、7月に開花する。果実は瘦果で、8月中旬頃より散布される。葉は秋季より褐変し、12月上旬頃には全体が枯れる。

アイアシ *Phacelurus latifolius* (Steud.) Ohwi (写真 5)

イネ科 Poaceae アイアシ属の多年草。3月に葉が伸び始め、6月から8月に開花する。果実は穎果。8月中旬頃より長柄の第一小穂と短柄の第二小穂が対になった状態で分離し、散布される。葉は秋季より黄変し、12月上旬頃には全体が枯れる。

ナガミノオニシバ *Zoysia sinica* Hance var. *nipponica* Ohwi (写真 6)

イネ科 Poaceae シバ属の多年草。4月に葉が伸び始

め、5月から6月に開花する。果実は穎果で、7月上旬頃より散布される。葉は秋季より褐変または紅葉し、12月上旬頃には全体が枯れる。

ハマサジ *Limonium tetragonum* (Thunb.) A.A.Bullock (写真 7)

イソマツ科 Plumbaginaceae イソマツ属の一回繁殖型の多年草。7月から11月に開花する。果実は瘦果。散布期ははっきりしなかった。開花・結実した個体は枯死する。茎葉(地上茎および葉)は夏季より黄変し、果実が散布される頃には全体が枯れる。芽生えは2月に観察された。

ホソバハマアカザ *Atriplex patens* (Litv.) Iljin (写真 8)

ヒユ科 Amaranthaceae ハマアカザ属の一年草。9月から10月に開花する。果実は胞果で、11月中旬頃より散布される。葉は秋季より黄変し、12月下旬頃には全体が枯れる。芽生えは1月に観察された。

イソホウキギ *Bassia littorea* (Makino) Freitag et G.Kadereit (写真 9)

ヒユ科 Amaranthaceae ムヒョウソウ属の一年草。9月から10月に開花する。果実は胞果。11月下旬頃より花被片に包まれた状態で散布される。葉は秋季より黄変し、12月上旬頃には全体が枯れる。芽生えは2月に観察された。

ヒロハマツナ *Suaeda malacosperma* H.Hara (写真 10)

ヒユ科 Amaranthaceae マツナ属の一年草。9月から10月に開花する。果実は胞果で花被片に包まれ、10月下旬頃より散布される。芽生えは1月に観察された。

ハママツナ *Suaeda maritima* (L.) Dumort. subsp. *asiatica* H.Hara (写真 11)

ヒユ科 Amaranthaceae マツナ属の一年草。9月から10月に開花する。果実は胞果で花被片に包まれ、10月下旬頃より散布される。葉は秋季より紅葉し、12月上旬頃には全体が枯れる。芽生えは1月に観察された。

フクド *Artemisia fukudo* Makino (写真 12)

キク科 Asteraceae ヨモギ属の一回繁殖型の多年草。9月から10月に開花する。果実は瘦果で、11月中旬頃より散布される。開花・結実した個体は枯死する。茎葉は秋季より黄変し、果実が散布される頃には全体が枯れる。開花・結実しなかった個体は冬季も緑葉を保つ。芽生えは1月に観察された。

ウラギク *Tripolium pannonicum* (Jacq.) Dobrocz. (写真 13)

キク科 Asteraceae ウラギク属の越年草 (から多年草?)。3月に茎葉が伸び始め、10月から11月に開花する。果実は瘦果で、11月中旬頃より散布される。開花・結実した個体は枯死する (一回繁殖型)。開花・結実しなかった個体は冬季も緑葉を保つ。芽生えは12月に観察された。

ハマボウ *Hibiscus hamabo* Siebold et Zucc. (写真 14)

アオイ科 Malvaceae フヨウ属の落葉低木から小高木。3月に茎葉が伸び始め、7月から8月に開花する。果実は蒴果。11月上旬頃より5裂し、種子が散布される。葉は秋季より黄変し、1月中旬頃には落葉する。

海岸崖地植物

イワタイゲキ *Euphorbia jolkinii* Boiss. (写真 15)

トウダイグサ科 Euphorbiaceae トウダイグサ属の多年草。4月から5月に開花する。果実は蒴果。6月上旬頃より裂開し、種子が散布される。茎葉は夏季より黄変し、全体が枯れるが、秋季に株元に新しい茎葉が現れ、春季にかけ展開する。

ハマナデシコ *Dianthus japonicus* Thunb. (写真 16)

ナデシコ科 Caryophyllaceae ナデシコ属の越年草から多年草。3月に茎葉が伸び始め、6月から8月に開花する。果実は蒴果。7月下旬頃より先が4裂し、種子が散布される。開花・結実後に枯死する個体と、枯死せず生存する個体の両方が観察された。後者と開花・結実しなかった個体は冬季も緑葉を保つ。

ノジギク *Chrysanthemum japonense* (Makino) Nakai (写真 17)

キク科 Asteraceae キク属の多年草。10月から1月に開花する。果実は瘦果で、1月下旬頃より散布される。茎葉は秋季より褐変し、果実が散布される頃には全体が枯れるが、同時期に株元に新しい葉が現れ、春季にかけ展開する。

ボタンボウフウ *Peucedanum japonicum* Thunb. var. *japonicum* (写真 18)

セリ科 Apiaceae ハクサンボウフウ属の多年草。3月に茎葉が伸び始め、6月から8月に開花する。果実は分果で、8月上旬頃より散布される。開花・結実した個体は枯死する (観察した限り、一回繁殖型)。茎葉は夏季より黄変し、果実が散布される頃には全体が枯れる。開

花・結実しなかった個体は冬季も緑葉を保つ。

海浜植物

アキノミチヤナギ *Polygonum polyneuron* Franch. et Sav. (写真 19)

タデ科 Polygonaceae ミチヤナギ属の一年草。7月から10月に開花する。果実は瘦果で萼に包まれ、10月中旬頃より散布される。葉は秋季より褐変し、12月上旬頃には全体が枯れる。芽生えは1月に観察された。

マツナ *Suaeda glauca* (Bunge) Bunge (写真 20)

ヒユ科 Amaranthaceae マツナ属の一年草。7月から10月に開花する。果実は胞果で花被片に包まれ、9月下旬頃より散布される。葉は秋季より黄変し、12月上旬頃には全体が枯れる。芽生えは2月に観察された。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K05709 の助成を受けたものである。

要 旨

瀬戸内地方に位置する兵庫県の播磨灘沿岸および山口県の周防灘沿岸の海岸域において、2018年7月から2020年3月にかけて、海岸植物20種の生育状態を毎月観察・記録した。観察した海岸植物を塩生植物 (シバナ、ドロイ、シオクグ、イソヤマテンツキ、アイアシ、ナガミノオニシバ、ハマサジ、ホソバハマアカザ、イソホウキギ、ヒロハマツナ、ハママツナ、フクド、ウラギク、ハマボウ)、海岸崖地植物 (イワタイゲキ、ハマナデシコ、ノジギク、ボタンボウフウ)、海浜植物 (アキノミチヤナギ、マツナ) に区分し、各種の展葉、開花、種子散布などの時期を示した。

文 献

- 工藤 岳 (2008) ランドスケープフェノロジー、植物の季節性を介した生物間相互作用。大串隆之・近藤倫生・仲岡雅裕 (編)、シリーズ群集生態学 4、生態系と群集をむすぶ。京都大学学術出版会、京都、pp. 147-178。
- 黒田有寿茂 (2021) 山陰海岸東部における海岸植物28種のフェノロジー観察記録。人と自然、31、73-92。
- 中西弘樹 (2018) 日本の海岸植物図鑑。トンボ出版、大阪、271 p。
- 澤田佳宏・中西弘樹・押田佳子・服部 保 (2007) 日本の海岸植物チェックリスト。人と自然、17、85-101。
- 米倉浩司 (2012) 日本維管束植物目録。北隆館、東京、379 p。

付 記

環境省「レッドリスト」(2019年11月18日閲覧)
[<https://www.env.go.jp/nature/kisho/hozen/redlist/index.html>]

気象庁「各種データ・資料」(2020年5月8日閲覧)
[<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>]
米倉浩司・梶田 忠「BG Plants 和名-学名インデックス (YList)」(2019年11月18日閲覧)
[<http://ylist.info>]

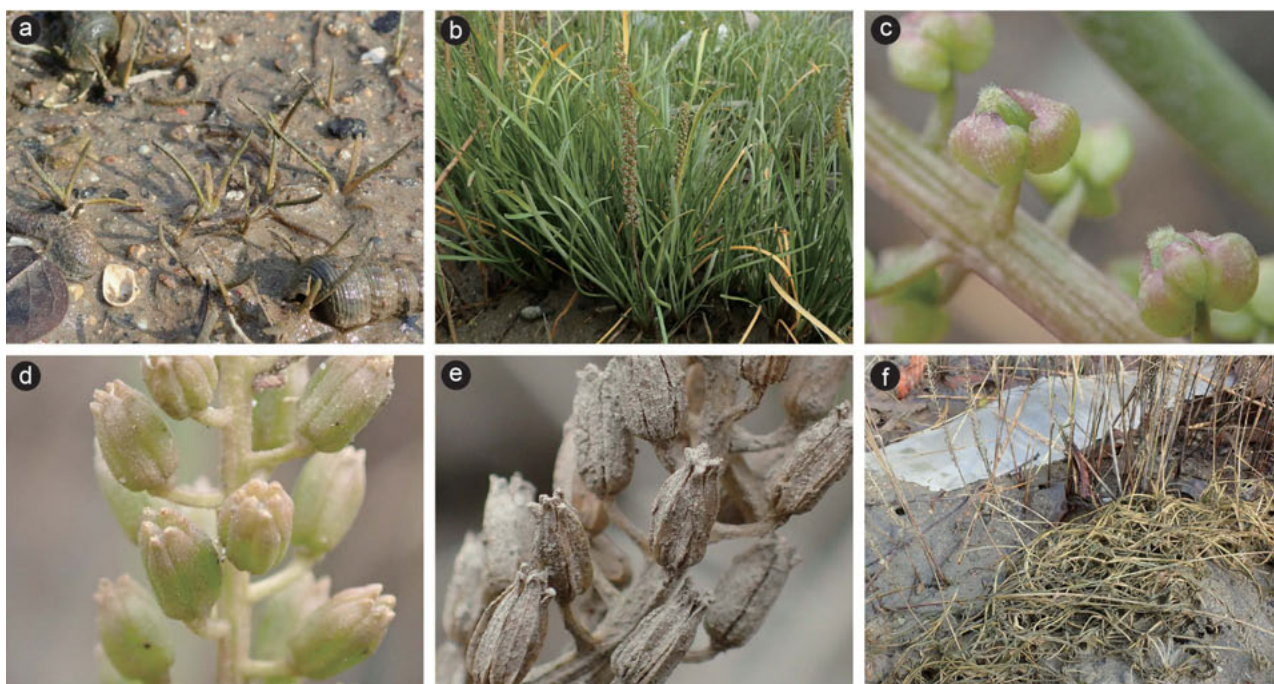


写真1 シバナ *Triglochin asiatica*, (a) 伸び始めた葉 200317H, (b) 開花期の全形 200924H, (c) 花 (雌性期) 200924H, (d) やや若い果実 191018H, (e) 散布期の果実 181119H, (f) 冬季の葉 200116H. 図キャプション中の6桁の数字は写真の撮影日, 大文字アルファベットは撮影地 (H, 兵庫県; Y, 山口県) を示す (例 200317H, 2020年3月17日兵庫県で撮影).



写真2 ドロイ *Juncus gracillimus*, (a) 伸び始めた葉 190402H, (b) 花序 200601H, (c) 若い果序 200608H, (d) 散布期の果序 200712H, (e) 散布期の全形 180723H, (f) 枯れた葉 200116H.



写真3 シオクグ *Carex scabrifolia*, (a) 開花期の全形 200420H, (b) 花序（雌小穂） 200420H, (c) 花序（雄小穂） 200420H, (d) 若い果序 200420H, (e) 散布期の果序 190609H, (f) 冬季の葉 200116H.



写真4 イソヤマテンツキ *Fimbristylis sieboldii*, (a) 伸び始めた葉 200316Y, (b) 花序（雌性期） 200615Y, (c) 花序（雄性期） 190707H, (d) 散布期の全形 190813Y, (e) 散布期の果序 190813Y, (f) 枯れた葉 200120Y.



写真5 アイアシ *Phacelurus latifolius*, (a) 伸び始めた葉 200317H, (b) 開花期の全形 190707H, (c) 花序 (雌性期) 190707H, (d) 花序 (雄性期) 190707H, (e) 散布期の果序 180820H, (f) 枯れた葉 191224H.



写真6 ナガミノオニシバ *Zoysia sinica* var. *nipponica*, (a) 伸び始めた葉 200420H, (b) 開花期の全形 200507H, (c) 花序 (雌性期) 200507H, (d) 花序 (雄性期) 190609H, (e) 散布期の果序 190707H, (f) 枯れた葉 191224H.

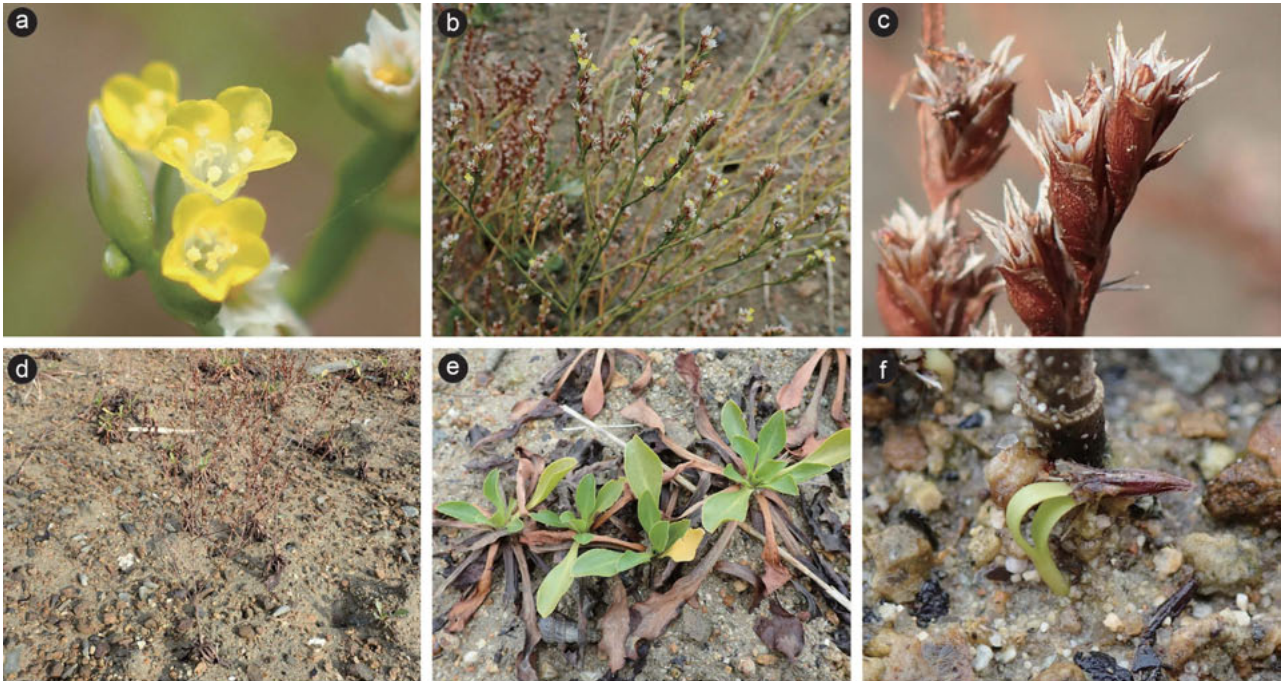


写真7 ハマサジ *Limonium tetragonum*, (a) 花 180820H, (b) 開花期終盤の花序 191018H, (c) 散布期の果序 181031H (紡錘形の瘦果がみえる), (d) 開花・結実後に枯れた個体 200116H, (e) 開花・結実しなかった個体 200217H, (f) 芽生え 200217H.



写真8 ホソバハマアカザ *Atriplex patens*, (a) 花序 180902H, (b) 開花期の全形 190924H, (c) 若い果序 181031H (果実は苞に包まれている), (d) 散布期の果序 181114H, (e) 枯れた茎葉 200116H, (f) 芽生え 200225Y.



写真9 イソホウキギ *Bassia littorea*, (a) 開花期の全形 190923Y, (b) 穂状の花序 190923Y, (c) 若い果実 191105Y, (d) 散布期の果実 191202Y, (e) 枯れた茎葉 200225Y, (f) 芽生え 200225Y.



写真10 ヒロハマツナ *Suaeda malacosperma*, (a) 伸長する茎葉 190501Y, (b) 伸長する茎葉 190813Y, (c) 開花期の全形 190923Y, (d) 花 190923Y, (e) 散布期を迎える果実 181015Y, (f) 芽生え 200316Y.



写真 11 ハママツナ *Suaeda maritima* subsp. *asiatica*, (a) 開花期の全形 190924H, (b) 花 190924H, (c) 散布期の果実 181031H, (d) 紅葉 181119H, (e) 枯れた茎葉 191224H, (f) 芽生え 200225Y.



写真 12 フクド *Artemisia fukudo*, (a) 開花期の全形 191018H, (b) 花 191018H, (c) 散布期の果実 181209H, (d) 開花・結実後に枯死した個体 200116H, (e) 開花・結実しなかった個体 190221H, (f) 芽生え 190221H.



写真 13 ウラギク *Tripolium pannonicum*, (a) 開花期の全形 191018H, (b) 頭花 191018H, (c) 散布期の全形 191202Y (手前の緑葉の多くは開花・結実しなかった個体とナガミノオニシバ), (d) 散布期の果実 191202Y, (e) 芽生え 200120Y, (f) 開花・結実しなかった個体 200316Y.

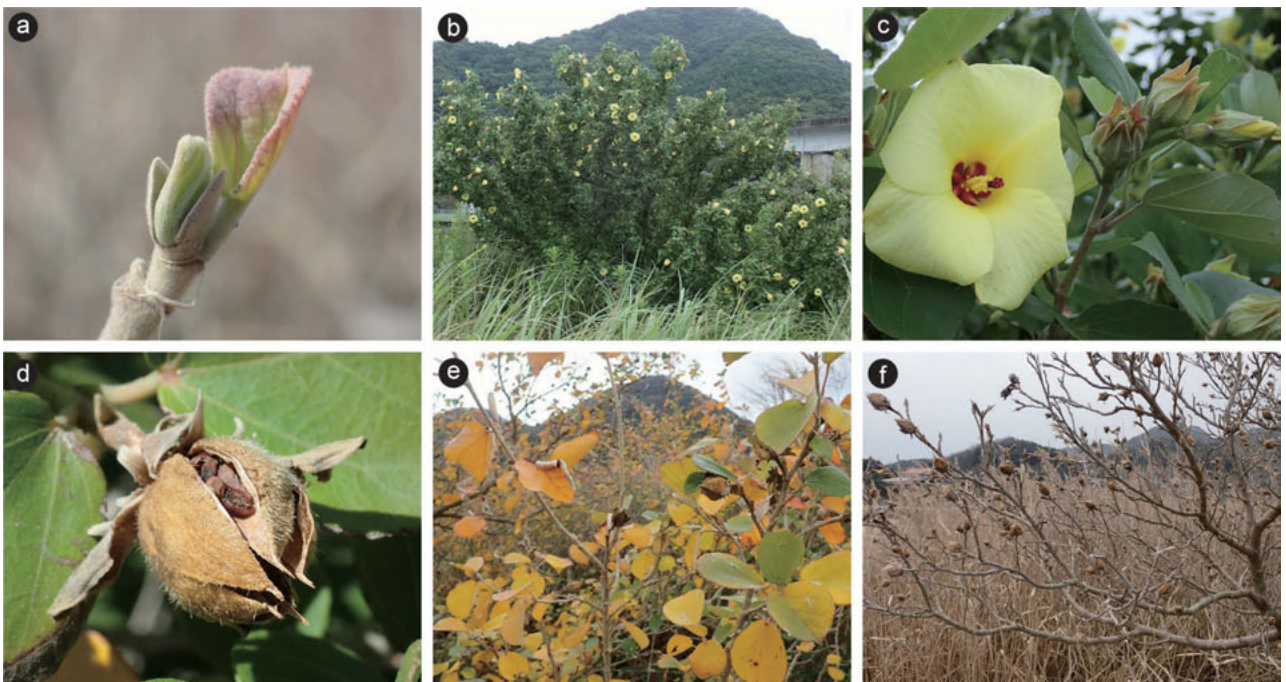


写真 14 ハマボウ *Hibiscus hamabo*, (a) 伸び始めた葉 190408Y, (b) 開花期の全形 200727Y, (c) 花と若い果実と蕾 200727Y, (d) 散布期の果実 191105Y, (e) 黄葉の進む葉 191202Y, (f) 落葉した枝 200120Y.



写真 15 イワタイゲキ *Euphorbia jolkinii*. (a) 開花期の全形 190501Y, (b) 雄花と雌花 190501Y, (c) 散布期の果実 200615Y, (d) 散布期の全形 200615Y, (e) 伸び始めた茎葉 200928Y, (f) 伸長する茎葉 191202Y.



写真 16 ハマナデシコ *Dianthus japonicus*. (a) 花 200701Y, (b) 開花期をほぼ過ぎた個体 190801H, (c) 散布期の果実 180820H, (d) 開花・結実後に枯死した個体 191113H, (e) 開花・結実後も生存する個体 191113H, (f) 開花・結実しなかった個体 191113H.



写真 17 ノジギク *Chrysanthemum japonense*, (a) 伸長する茎葉 190609H, (b) 開花期の全形 191113H, (c) 頭花 191113H, (d) 散布期の果序 200217H, (e) 株元の茎葉 200217H, (f) 開花・結実後の枯れた茎葉と伸長中の茎葉 200317H.

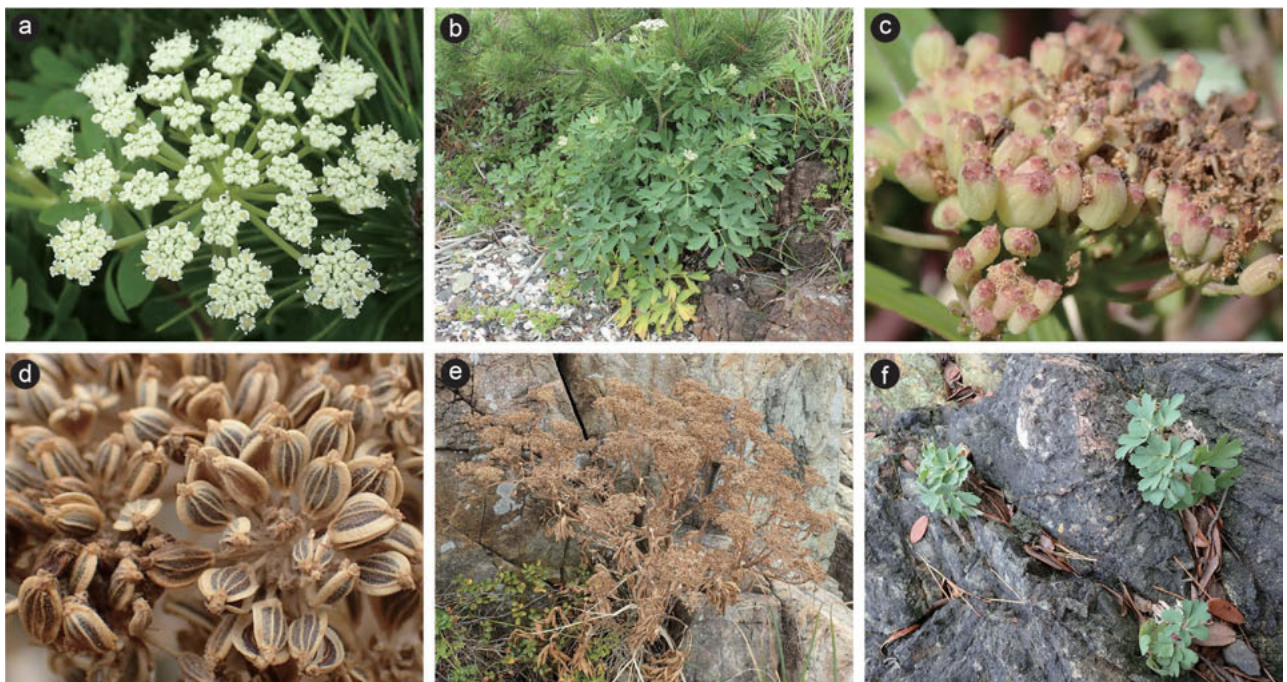


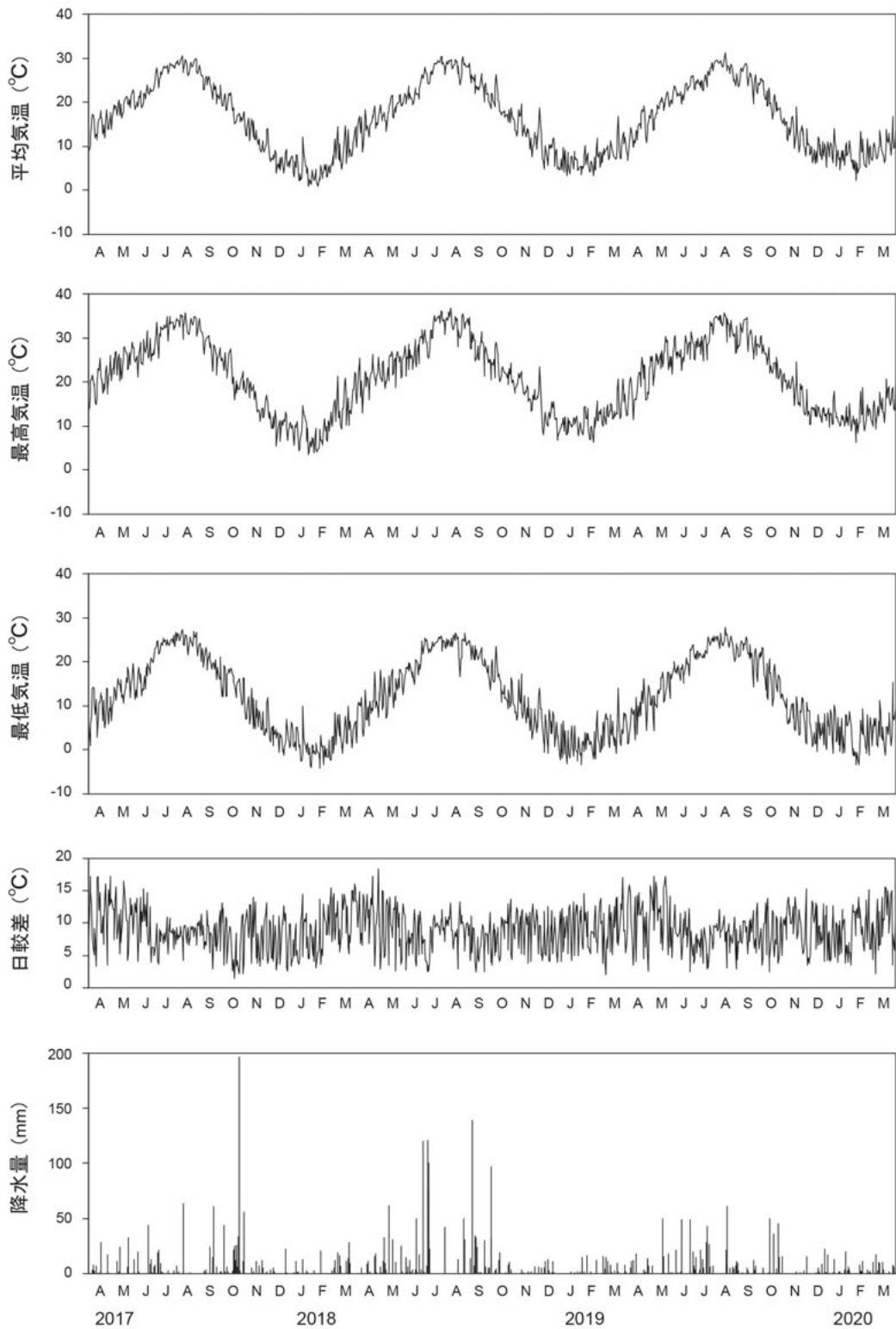
写真 18 ボタンボウフウ *Peucedanum japonicum* var. *japonicum*, (a) 花序 200615Y, (b) 開花期の全形 200615Y, (c) 若い果実 190813Y, (d) 散布期の果実 190820H, (e) 開花・結実後に枯死した個体 190820H, (f) 開花・結実しなかった個体 200120Y.



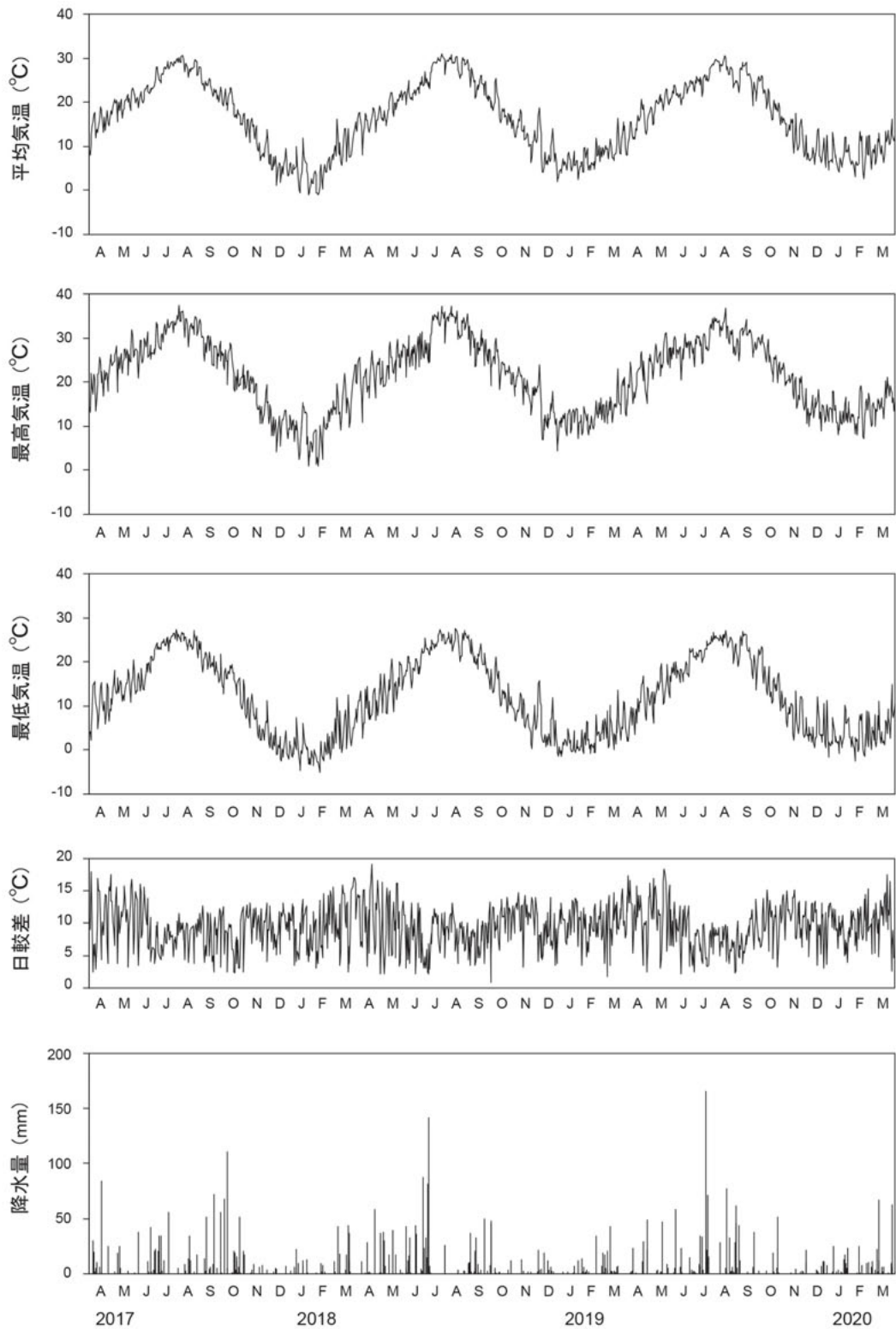
写真 19 アキノミチヤナギ *Polygonum polyneuron*, (a) 開花期の全形 180820H, (b) 花 180927H, (c) 散布期の果実 191018H (萼とほぼ同長), (d) 散布期の果実 (萼から突出) 181209H, (e) 枯れた茎葉 200116H, (f) 芽生え 200317H.



写真 20 マツナ *Suaeda glauca*, (a) 伸長する茎葉 190709H, (b) 花 190805H, (c) 果実 190930H, (d) 果実 191125H, (e) 枯れた茎葉 200117H, (f) 芽生え 200209H.



付図1 郡家観測所における2017年4月から2020年3月にかけての日別の平均気温、最高気温、最低気温、日較差（一日の最高気温と最低気温の差）、降水量。アルファベットは各月の英語頭文字を示す。



付図2 宇部観測所における 2017 年 4 月から 2020 年 3 月にかけての日別の平均気温，最高気温，最低気温，日較差（一日の最高気温と最低気温の差），降水量。アルファベットは各月の英語頭文字を示す。

センサーカメラを用いた石巻専修大学演習林（宮城県）の 哺乳類相および鳥類相の評価

古川真澄^{1,2)}・依田清胤¹⁾・辻大和^{1)*}

A survey of mammalian and avian fauna in University Forest of the Ishinomaki Senshu University, Miyagi Prefecture, using sensor cameras

Masumi FURUKAWA^{1,2)}, Kiyotsugu YODA¹⁾ and Yamato TSUJI^{1)*}

Abstract

We investigated mammalian and avian fauna in university forest of the Ishinomaki Senshu University, Miyagi Prefecture, using sensor cameras. We set the cameras inside the university forest and recorded the animals for one year (from June 2020 to June 2021). During the study period, 23 animal species (12 mammals and 11 birds) including Japanese serow (*Capricornis crispus*), which is listed in the Red List of Miyagi Prefecture, were recorded. Several movies recorded family or couple animals, which implied their reproduction. Sika deer (*Cervus nippon*), red foxes (*Vulpes vulpes*), raccoon dogs (*Nyctereutes procyonoides*) and domestic cats (*Felis catus*) were frequently recorded and bird species were less recorded. Six out of 12 mammalian species were recorded in all seasons, while others were not recorded in several seasons. Time zones when the movies of animals were taken (represent active time of target species) was similar to other study sites. We need to pay a special attention to density of sika deer in the university forest because recent studies have reported their negative impact on the vegetation and soil through grazing.

Key words: environmental education, fauna, Japanese serow, sika deer, sensor camera, university forest

(2021年6月15日受付, 2021年8月14日受理, 2022年1月5日発行)

¹⁾ 石巻専修大学 〒986-8580 宮城県石巻市南境新水戸1

Ishinomaki Senshu University; 1 Shin-Mito, Minamizakai, Ishinomaki, Miyagi, 986-8580 Japan

* Corresponding author: ytsuji1002@gmail.com

²⁾ 涌谷町立涌谷中学校 〒987-0121 宮城県遠田郡涌谷町涌谷字内林1-10

Wakuya Junior Highschool; 1-10 Uchibayashi, Wakuya, Toda District, Miyagi, 987-0121 Japan

はじめに

野生動物の多くは直接観察が困難であり、とくに哺乳類は多くが夜行性であるため、その生息状況の調査にはこれまで足跡・食痕・糞といった痕跡が使われてきた(關ほか, 2015)。いっぽう行動については、発信機を装着した個体を追跡するのが一般的だが、この方法には捕獲の許可申請に時間を要し、また捕獲が動物にストレスを与えるという問題がある。

近年の技術進歩が著しい自動撮影カメラ(センサーカメラ)は、カメラ一台の撮影範囲に限られ、周辺環境の情報が得られないという欠点があるものの、日夜を問わず連続調査が可能であり、対象動物を傷付ける心配がない、調査員の調査経験に左右されにくい、画像として記録が残るなど、従来の方法にはない利点を備えている(關ほか, 2015; 西丸ほか, 2016)。製品の価格が下がったこともあり、センサーカメラを用いた生息状況や行動の調査が、ここ10年の間に各地で実施されるようにな

った(佐々木, 2011; 遠藤・北村, 2014; 高崎ほか, 2016)。

石巻市は宮城県の北東部に位置し、湊のケヤキ・シロダモ林、追波川の川辺植生、北上川ヨシ原など、豊かな自然に囲まれた場所である。金華山島のニホンザル *Macaca fuscata* (Blyth, 1875) (絶滅のおそれのある地域個体群(LP)指定) やタゴガエル *Rana tagoi* Okada, 1928 (準絶滅危惧種(NT)指定) など、環境省及び宮城県のレッドデータブックに掲げられている種を含め、多くの動物が生息する(宮城県ホームページ)。われわれが籍をおく石巻専修大学(以下、本学)は、キャンパスに隣接した約0.2 km²の演習林を有する。森林としては小規模だが、植物相が豊かで(石塚ほか, 1994)、本学の学生や教員の調査フィールドとして活用されてきた。ハクビシン *Paguma larvata* (Smith, 1827) やニホンカモシカ *Capricornis crispus* (Temminck, 1845) が演習林とキャンパスを出入りしていることが以前から本学の職員の間で知られており、

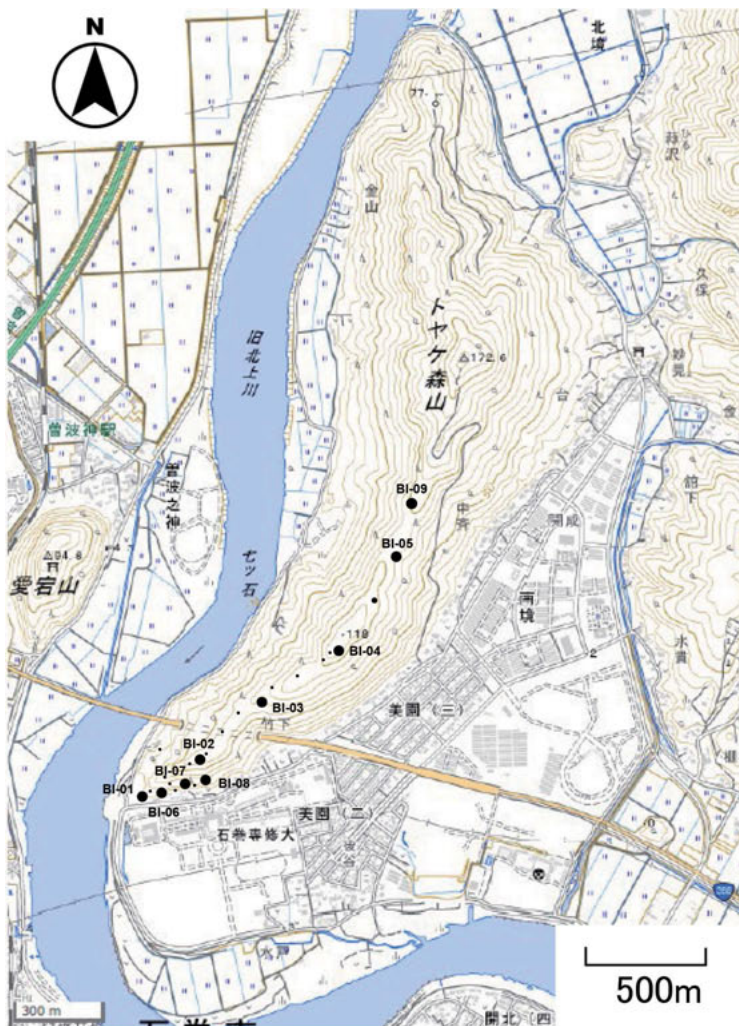


図1 宮城県石巻市(右図)ならびにトヤケ森山(左図)の位置。黒い丸はセンサーカメラを設置した位置を、小さな点は短期間のみ設置したカメラの位置を、それぞれ示す。等高線の間隔は10 m。

他にも多様な動物が生息していると考えられてきたが、その詳細はこれまで不明だった。

そこでわれわれは、演習林内にセンサーカメラを設置して、哺乳類ならびに鳥類の生息状況を1年間にわたり調査した。撮影頻度が高い動物種については、撮影頻度の季節変化や時間帯による違いも検討した。得られた知見は、野生動物を対象とした生態学的調査の基盤データとなり、学生向けの教育・実習や小中学生向けの環境教育プログラムに活用できると期待される。

材料と方法

調査地

本研究は、石巻市南境地区にある本学の演習林 (38° 27' N, 141° 17' E) で行った (図1)。演習林は、旧北上川流域にある南北に細長い丘陵地 (南北3 km, 東西の最大幅1 km, 最大標高173.6 m, 以下、トヤケ森山) の南端の約0.2 km²を占める。トヤケ森山の東側や南側では山麓にそって旧来の集落が現存する。かつてその東側の平野部に広がっていた水田は、1990年代以降の土地開発により本学敷地や新興住宅地、総合運動公園などに置き換えられている。いっぽう、この丘陵地の北東側や北西側に接する区域では、現在でも水田耕作が営まれている。トヤケ森山の山頂付近は、1960年代まで地区共用の草地 (家畜飼料用の草刈り場、屋根葺き用のカヤ刈り場) として管理されており (石塚ほか, 1994)、現在も草地となっている。尾根筋から斜面にかけてはクヌギ *Quercus acutissima* Carruthers, コナラ *Quercus serrata* Thunb. ex Murray, ケヤキ *Zelkova serrata* (Thunb.) Makino などが優占する落葉広葉樹二次林とスギ *Cryptomeria japonica* (L. fil.) D. Don の人工林が混在し、林内には暖温帯要素のアカガシ *Quercus acuta* Thunb. ex Murray, シロダモ *Neolitsea sericea* (Bl.) Koidz. などが点在している。また南側斜面の林分では、低木層に常緑性のヤブツバキ *Camellia japonica* L., アオキ *Aucuba japonica* Thunb. が多くみられる (石塚ほか, 1994)。近年、東側と南側の山麓から斜面中部にかけてマダケ *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc. の活発な侵入・分布拡大が生じている。

調査期間中の石巻市の年平均気温は15.9℃ (最高気温は月平均20.5℃, 最低気温は月平均12.0℃), 年間降水量は1294.0 mm だった (気象庁石巻測候所)。本研究では、平均気温に基づき季節を4つに区分した (春: 3月から5月, 夏: 6月から8月, 秋: 9月から11月, 冬: 12月から2月)。

映像データの収集と解析

2020年5月に1週間程度の調査を行い、センサーカメラの設置場所の下見ならびに予備的な撮影を試みた。そのうえで、2020年6月15日から2021年6月2日にかけての約一年間、演習林内の散策路沿い (すべて二次林) の木の幹に、センサーカメラ (LTL-Acorn 6310, Shenzhen Ltl Acorn Electronics Co., Ltd.) を地上高1 mの高さで、道を避けて (林床に向けて) セットし、カメラの周辺に現れた哺乳類と鳥類の動画を撮影した (データは内蔵のSDカードに保存される)。隣接する設置場所同士は80 m以上の間隔を空けた (図1)。撮影時間を60秒、撮影インターバルを10分間とし、動画に年月日と撮影時刻が写し込まれるように設定した。カメラの上部には雨よけにプラスチックのトレーを設置した。2週間から4週間に一回の頻度 (調査期間中に全20回) で演習林に入り、機材の動作確認ならびにSDカードの回収・交換を行った。調査期間中にカメラを増やしたため、設置期間はカメラ毎に異なる (表1)。なお、本研究では、学生実習などで短期間設置したカメラ (17台) のデータも解析に加えた (図1)。調査期間中のセンサーカメラの延べ稼働日数は、3011日だった (表1)。撮影された動物の多くは個体識別が困難であり、撮影頻度をそのまま用いると同一個体の重複カウントの影響が無視できなくなる (塚田ほか, 2006)。後述する解析においてデータの独立性をできるだけ担保するため、30分未満の間隔で撮影された動物は同一個体であるとみなして (角の有無で雌雄の判別ができたニホンジ

表1 石巻専修大学演習林内にセットしたセンサーカメラの調査期間中 (2020年6月から2021年6月) の稼働日数と撮影枚数。

地点	標高 (m)	設置期間	稼働日数	撮影枚数
BI-01	0	2020/6/15 - 2021/6/2	348	135
BI-02	60	2020/6/15 - 2021/6/2	348	70
BI-03	65	2020/6/15 - 2021/6/2	348	23
BI-04	110	2020/6/15 - 2021/6/2	348	27
BI-05	110	2020/6/15 - 2021/6/2	335	91
BI-06	20	2020/8/19 - 2021/6/2	288	22
BI-07	40	2020/8/19 - 2021/6/2	288	67
BI-08	40	2020/8/19 - 2021/6/2	288	16
BI-09	120	2021/2/20 - 2021/6/2	122	28
S-01	20	2020/9/1 - 2020/9/16	16	1
S-02	50	2020/9/1 - 2020/9/16	16	0
S-03	65	2020/9/1 - 2020/9/16	16	13
S-04	60	2020/9/1 - 2020/9/16	16	0
S-05	60	2020/9/1 - 2020/9/16	16	1
S-06	70	2020/9/1 - 2020/9/16	16	0
S-07	90	2020/9/1 - 2020/9/16	16	7
S-08	100	2020/9/1 - 2020/9/16	16	0
S-09	110	2020/9/1 - 2020/9/16	16	33
S-10	10	2020/9/1 - 2020/9/16	16	0
S-11	30	2020/9/1 - 2020/9/16	16	1
S-12	30	2020/9/1 - 2020/9/16	16	0
S-13	30	2020/9/1 - 2020/9/16	16	8
S-14	40	2020/9/1 - 2020/9/16	16	3
S-15	90	2020/11/10 - 2020/12/9	30	3
S-16	110	2020/10/19 - 2020/11/10	23	10
S-17	110	2021/4/16 - 2021/5/6	21	38
			3011	597

カ *Cervus nippon* Temminck, 1838 のケースを除く), データセットから除いた。

撮影枚数の多い動物については, 撮影枚数の季節変化や時間帯による違いを評価した。統計解析には一般化線形混合モデル (Generalized Linear Mixed Model: GLMM) を用いた。季節変化については, 各季節の撮影枚数を応答変数 (誤差構造: ポアソン分布, オフセット項: カメラの設置日数), 季節を説明変数, センサーカメラの ID をランダム要因とした。

いっぽう時間帯の影響については, データが得られたカメラについて, 石巻市の年間の日の出/日の入り時間の平均値 (日の出 6 時 31 分, 日の入り 18 時 38 分; MAPLOGS.COM 2020) を参考に, 19:00-4:59 を「夜間」, 7:00-16:59 を「日中」, 5:00-6:59 を「薄明」, 17:00-18:59 を「薄暮」に分類して, 撮影頻度の時間帯による差異を動物種ごとに評価した。各時間帯の撮影枚数を応答変数 (誤差構造: ポアソン分布, オフセット項: カメラの設置日数×時間割合), 時間帯を説明

変数, センサーカメラの ID をランダム要因とした。これらの統計解析にはフリーソフトウェア R ver. 4.0.0 (R Developmental Core Team, 2020) ならびに lme4 パッケージ (関数 glmer) を用い, 有意水準 (α) は 0.05 とした。

結 果

調査期間中に 634 枚の映像が撮影された。撮影された動物は哺乳類が 12 種, 鳥類が 11 種の計 23 種だった (表 2, 図 2)。ニホンジカの撮影枚数が 190 枚と際立って多く, アカギツネ *Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758) (92 枚), タヌキ *Nyctereutes procyonoides* (Gray, 1834) (83 枚), イエネコ *Felis catus* Linnaeus, 1758 (73 枚) がそれに次いだ。上位 5 種, 10 種の動物でそれぞれ全撮影枚数の 76 %, 94 % を占めた。鳥類の撮影枚数は哺乳類に比べて少なく, 全種合わせても 40 枚だった (表 2)。

表 2 調査期間中 (2020 年 6 月から 2021 年 6 月) に記録した動物のリスト。

和名	科	学名	撮影月	撮影枚数
哺乳類 Mammalia				
タヌキ	Canidae	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	Jan, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec	83
アカギツネ	Canidae	<i>Vulpes vulpes</i>	Jan, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec	92
ニホンアナグマ	Mustelidae	<i>Meles anakuma</i>	Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov	36
ニホンテン	Mustelidae	<i>Martes melampus</i>	Mar, Apr, May, Sep	4
ニホンイタチ	Mustelidae	<i>Mustela itatsi</i>	Sep	1
ハクビシン	Viverridae	<i>Paguma larvata</i>	Apr, May, Jun, Jul, Sep	19
イエネコ	Felidae	<i>Felis catus</i>	Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec	73
ニホンカモシカ	Bovidae	<i>Capricornis crispus</i>	Mar, Apr, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec	43
ニホンジカ	Cervidae	<i>Cervus nippon</i>	Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun, Jul, Aug, Sep, Oct, Nov, Dec	190
ニホンノウサギ	Leporidae	<i>Lepus brachyurus</i>	Jan, Feb, Mar, Apr, Aug, Dec	15
ネズミ類	Muridae	<i>Apodemus</i> sp.	Mar, Apr, Jul	5
ニホンリス	Sciuridae	<i>Sciurus lis</i>	Feb, Mar, Apr, May, Aug, Sep,	33
小計				594
鳥類 Aves				
ヤマガラ	Paridae	<i>Sittiparus varius</i>	Mar, Jul, Nov	4
シジュウカラ	Paridae	<i>Parus minor</i>	Jun, Nov	2
トラツグミ	Turdidae	<i>Zoothera dauma</i>	Oct, Nov, Dec	4
アカハラ	Turdidae	<i>Turdus chrysolaus</i>	Nov	1
シロハラ	Turdidae	<i>T. pallidus</i>	Apr, May	4
クロツグミ	Turdidae	<i>T. cardis</i>	Sep	1
キジバト	Columbidae	<i>Streptopelia orientalis</i>	Mar, Apr, Jul, Sep, Nov	5
カケス	Corvidae	<i>Garulus glandarius</i>	Oct, Nov	4
ヤマドリ	Phasianidae	<i>Syrmaticus soemmerringii</i>	Apr, May, Jun, Sug, Sep, Oct	10
ヒヨドリ	Pycnonotidae	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	Jan, Jul, Oct	3
クロジ	Emberizidae	<i>Emberiza variabilis</i>	May	2
小計				40
合計				634

撮影頻度の季節変化

生息が確認された 23 種の動物うち、いずれの季節も撮影された哺乳類は、タヌキ、アカギツネ、イエネコ、ニホンカモシカ、ニホンジカ、ニホンリス *Sciurus lis* Temminck, 1844 の 6 種だった (表 2)。ニホンアナグマ *Meles anakuma* Temminck, 1844 とハクビシン (冬は撮影なし)、ニホンノウサギ *Lepus brachyurus* Temminck, 1845 (秋は撮影なし)、ニホンテン *Martes melampus* (Wagner, 1840) (夏・冬は撮影なし)、ニホンイタチ *Mustela itatsi* Temminck, 1844 (秋のみ)、ネズミ類 *Apodemus* spp. (秋・冬は撮影なし) の 6 種は、撮影枚数に季節変化がみられた (表 2)。鳥類については個々の種の撮影枚数が少なく、種ごとの解析はできなかった。調査期間中に 15 枚以上の映像が記録された 9 種の哺乳類について、撮影枚数の季節変化を検討したところ、結果が収束した 7 種中 5 種で撮影枚数の平均値に月間で有意差がみられ、アカギツネの撮影枚数が夏に多く冬に少ない

こと、イエネコの撮影枚数が春と冬に少ないこと、ニホンジカの撮影枚数が春に少なく冬に多いこと、ニホンカモシカの撮影枚数が冬に少ないこと、そしてニホンリスの撮影枚数が秋に多いことが分かった (表 3)。タヌキとニホンノウサギの撮影枚数には、季節変化が見られなかった。

撮影頻度の時間帯による違い

調査期間中に 15 枚以上の映像を記録した 9 種の哺乳類について、撮影枚数の時間帯による変化を検討したところ、結果が収束した 6 種中 5 種で撮影枚数の平均値に時間帯間で有意差がみられ、タヌキ、アカギツネ、ニホンアナグマの 3 種は夜間の撮影頻度が高いこと、タヌキは薄暮の撮影頻度も高いこと、ニホンカモシカは薄暮の撮影頻度が低いこと、ニホンジカは日中の撮影頻度が低いこと、などが分かった (表 3)。イエネコは、撮影頻度と時間帯の間に明瞭な傾向は見られなかった (表 3)。

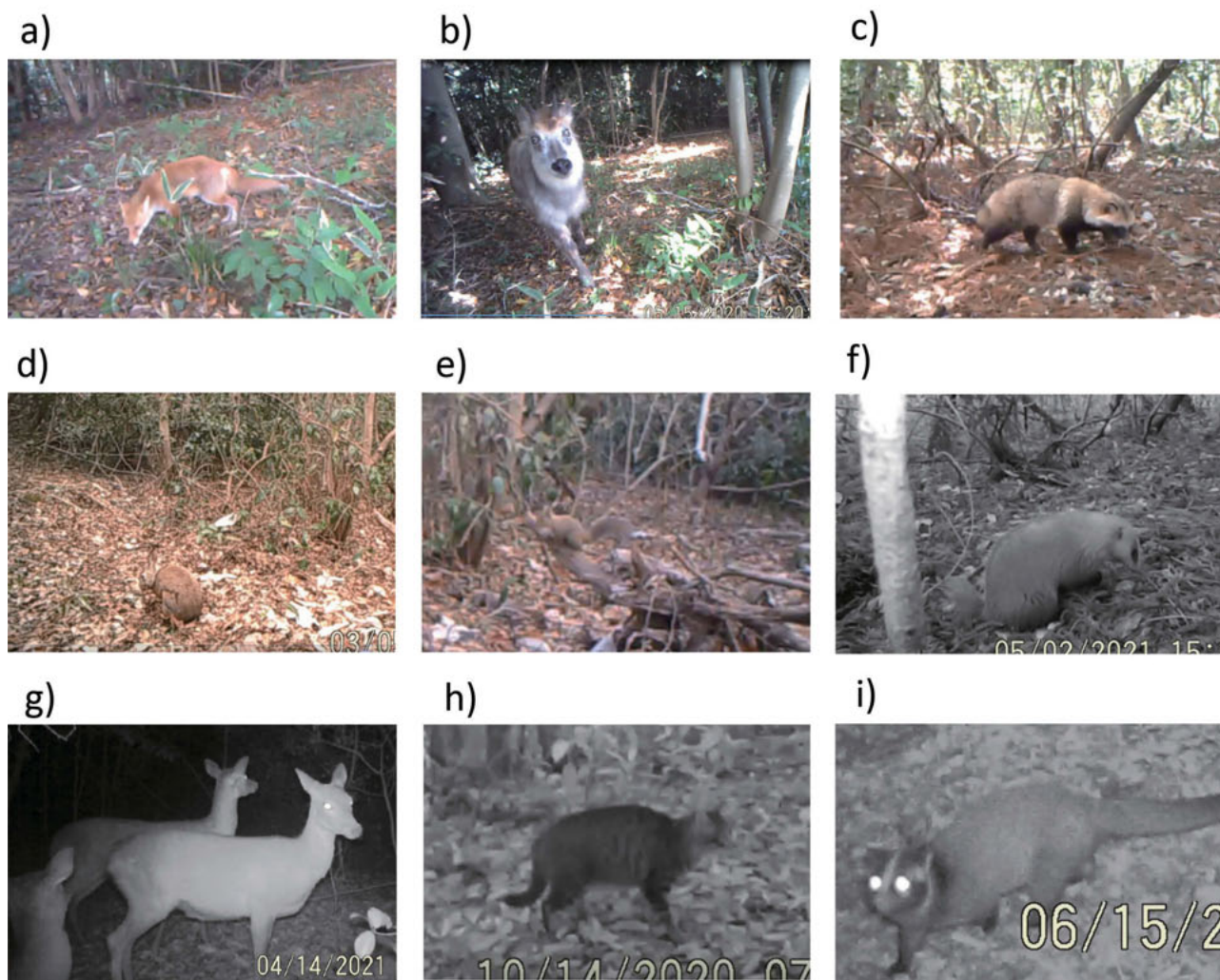


図 2 石巻専修大学付属演習林内に設置したセンサーカメラで撮影した哺乳類。a) アカギツネ, b) ニホンカモシカ, c) タヌキ, d) ニホンノウサギ, e) ニホンリス, f) ニホンアナグマ, g) ニホンジカ, h) イエネコ, i) ハクビシン。

考 察

石巻専修大学演習林の動物相

約一年間の調査期間中、本学の演習林では23種の動物(哺乳類12種, 鳥類11種)が記録された。国内でのセンサーカメラによる動物相の調査結果をレビューした遠藤・北村(2014)によると、各地で記録された哺乳類種のレンジは9種から16種であり、本学演習林の哺乳動物相は、平均的な水準といえる。哺乳類に関してはツキノワグマ *Ursus thibetanus* G. Cuvier, 1823, ニホンザル, イノシシ *Sus scrofa* Linnaeus, 1758 は撮影されなかったが、本州の主要な哺乳類がほぼすべて記録されており、研究対象としての活用や、環境教育の教材としての利用には十分だと思われる。特別天然記念物、かつ宮城県のレッドリスト(宮城県ホームページ)で「要注目種」とされるニホンカモシカが高頻度で撮影されており、希少種を大学の近くで通年調査できる点は、特筆すべきだろう。多くの種が通年撮影されたことや、ニホンカモシカとアカギツネに関しては親子連れと思われる映像が、タヌキについては2匹(つがいと思われる)で一緒に行動している映像が、それぞれ複数回撮影されたことを考えると、これらの哺乳類が演習林内で繁殖している可能性は高く、研究/教育目的の長期的な活用が期待できる。

演習林では、2019年までニホンジカの日撃情報はなかった(依田, 未発表)。しかし本調査により、ニホンジカが演習林を通年利用していることがわかった。とくに、冬季の撮影頻度の高さは顕著だった。ニホンジカは下層植生を過剰に採食し、土壌の劣化を引き起こすことが各地で報告されている(高槻, 1989; 野宮ほか, 2013)。本研究でも、演習林内の低木層の優占種であるアオキに高頻度で食痕がみられるなど(辻, 未発表)、長期的な植生への影響が懸念される。後述する撮影頻度の季節変化の問題とも関連するが、仮にニホンジカが演習林に定着している場合、繁殖状況や植生を長期にわたってモニタリングし、場合によっては個体数調整の実施や防護柵の設置などを検討する必要がある。

今回、動きの速い動物や小型種の評価には課題が残った。たとえばイタチ科の動物については一瞬でカメラの前を走り去った映像が多かった。彼らがカメラの前を通過したが撮影されなかったケースは、多数あったと思われる。いっぽうネズミ類や小型鳥類は画面に小さくしか写り込んでおらず、映像に基づく種同定は困難だった。センサーカメラは有用なツールだが、このような技術上の問題点もあるため、動物相のより詳細な評価のために、今後はカメラのセッティング方法を再検討するとともに、直接観察や痕跡調査、聞き取り調査など別の調査項目も並行して行う必要がある。

表3 センサーカメラの撮影頻度に関する一般化線形混合モデル(GLMM)の解析結果のまとめ。

動物種	解析1(季節比較)					解析2(時間帯比較)				
	季節	推定値	標準誤差	z	p	時間帯	推定値	標準誤差	z	p
a) タヌキ	春(3-5月)	0.60	0.39	1.54	0.124	日中(8:00-16:59)	1.41	0.80	1.77	0.078
	夏(6-8月)	0.38	0.50	0.75	0.454	薄暮(17:00-18:59)	1.61	0.76	2.12	0.034
	冬(12-2月)	-0.66	0.54	-1.21	0.225	夜間(19:00-5:59)	3.12	0.75	4.45	< 0.001
b) アカギツネ	春(3-5月)	-0.46	0.40	-1.14	0.253	日中(8:00-16:59)	0.02	0.69	0.03	0.9771
	夏(6-8月)	2.02	0.36	5.64	< 0.001	薄暮(17:00-18:59)	0.87	0.53	1.65	0.100
	冬(12-2月)	-1.12	0.51	-2.18	0.029	夜間(19:00-5:59)	1.49	0.65	2.28	0.022
c) ニホンアナグマ	春(3-5月)	NA	NA	NA	NA	日中(8:00-16:59)	-0.12	0.97	-0.12	0.903
	夏(6-8月)	NA	NA	NA	NA	薄暮(17:00-18:59)	0.69	0.71	0.98	0.327
	冬(12-2月)	NA	NA	NA	NA	夜間(19:00-5:59)	2.41	0.69	3.50	< 0.001
d) イエネコ	春(3-5月)	-0.66	0.33	-1.99	0.047	日中(8:00-16:59)	0.55	0.89	0.62	0.536
	夏(6-8月)	0.35	0.33	1.05	0.294	薄暮(17:00-18:59)	-0.34	0.59	-0.58	0.566
	冬(12-2月)	-1.30	0.42	-3.07	0.002	夜間(19:00-5:59)	-0.66	0.91	-0.73	0.469
e) ニホンカモシカ	春(3-5月)	-0.59	0.44	-1.36	0.174	日中(8:00-16:59)	0.05	0.49	0.10	0.920
	夏(6-8月)	0.58	0.44	1.32	0.187	薄暮(17:00-18:59)	-2.20	1.05	-2.09	0.037
	冬(12-2月)	-1.59	0.63	-2.53	0.012	夜間(19:00-5:59)	-0.64	0.53	-1.21	0.225
f) ニホンジカ	春(3-5月)	-1.17	0.29	-4.05	< 0.001	日中(8:00-16:59)	-0.86	0.37	-2.30	0.022
	夏(6-8月)	0.15	0.28	0.53	0.599	薄暮(17:00-18:59)	-0.39	0.30	-1.31	0.192
	冬(12-2月)	0.65	0.17	3.72	< 0.001	夜間(19:00-5:59)	0.05	0.35	0.14	0.888
g) ニホンノウサギ	春(3-5月)	11.93	131.12	0.09	0.927	日中(8:00-16:59)	NA	NA	NA	NA
	夏(6-8月)	11.55	131.15	0.09	0.930	薄暮(17:00-18:59)	NA	NA	NA	NA
	冬(12-2月)	11.93	131.12	0.09	0.927	夜間(19:00-5:59)	NA	NA	NA	NA
h) ニホンリス	春(3-5月)	-2.32	0.99	-2.34	0.019	日中(8:00-16:59)	NA	NA	NA	NA
	夏(6-8月)	-1.99	1.06	-1.87	0.061	薄暮(17:00-18:59)	NA	NA	NA	NA
	冬(12-2月)	-2.66	1.06	-2.50	0.012	夜間(19:00-5:59)	NA	NA	NA	NA

有意差がみられた場合は太字で示す。NA: データ不足により結果が収束せず。ハクビシンは季節比較, 時間帯比較ともに解析結果が収束しなかった。

動物の撮影頻度の季節性と活動時間

アカギツネの撮影頻度は、夏季に高かった（表3）。鹿児島県では、アカギツネの親子の巢外活動は5月初旬に始まることが知られている（船越ほか，2009）。本研究で2020年6月に撮影された映像には、親が子を追い立てる様子が写っているものがあったことから、アカギツネの撮影頻度が彼らの繁殖スケジュールから影響を受けている可能性が示唆された。

ニホンジカの撮影頻度は、冬に高かった（表3）。石巻市では毎年11月中旬から3月にかけてニホンジカの狩猟が行われており（石巻市産業部ニホンジカ対策室，2021）、演習林の近隣地区に生息するニホンジカが狩猟圧を避けて演習林に逃げ込み、その結果冬季の撮影頻度が増加した可能性がある。

ニホンリスの撮影頻度は、秋季に高かった。これは、この時期に彼らがクルミなどの堅果類を貯食するために盛んに動き回っていること（田村，1997）と関係があると思われる。実際、撮影された映像の多くは、彼らが堅果類をくわえているものだった。ニホンリスが秋に頻繁に撮影されることは他県でも報告があり（島田，2010）、本種に一般的な傾向と思われる。

最後に、イエネコの撮影頻度が春と冬に低かった理由として、気温が低いこれらの時期に彼らが飼われている家から外に出なかった可能性が考えられるが、この点については検証が必要である。

いっぽう、映像が撮影された時間帯（すなわち動物の活動時間帯）に関しては、類似の調査を行った山梨県や石川県での結果（西丸ほか，2016；遠藤・北村，2014）とほぼ同様で、タヌキとニホンアナグマについては夜間の撮影頻度の高さが、ニホンジカについては日中の撮影頻度の低さが、そしてイエネコは時間帯と撮影頻度の関連性の低さが、それぞれ共通していた。今後、これらの地域と植生や地形を比較して、動物の活動時間との関連を検討したい。

動物調査・教育の場としての演習林の活用

本研究により、本学の演習林の哺乳類相並びに鳥類相が明らかになり、一部の哺乳類については季節性や時間帯による活動の変化も明らかになった。キャンパスから近いという強みを生かし、今後演習林を本学の卒業研究や大学院生の調査フィールドとして、また学生実習の場として活用していきたい。いっぽう、演習林を地域の環境教育のフィールドとして活用することも検討したい。今回使用したセンサーカメラは、操作が簡便なため生徒自身が設置でき、多くの情報が得られるツールと考えられる。地域の子供たちにカメラを使った調査を体験してもらい、自分たちの暮らす場所に生息する動物について考えてもらうことは、彼らの知的好奇心を刺激する、良

い機会になるだろう。

謝 辞

石巻専修大学理工学部生物科学科・動物生態学研究室のメンバーには調査補助をしていただいた。宮城県森林インストラクターの太田吉厚氏には撮影された鳥類を種同定していただいた。本研究の遂行にあたり、科学研究費補助金（基盤C：19K06837）ならびに令和2年度石巻専修大学個人研究費（課題名：石巻市内の野生動物の基礎調査）の助成を受けた。以上の方々および組織に感謝申し上げる。

和文要旨

2020年6月から2021年6月にかけて、センサーカメラを用いて石巻専修大学演習林の哺乳類相ならびに鳥類相を調査した。調査期間中、23種（哺乳類12種、鳥類11種）の動物が記録され、中には宮城県のレッドリストで「要注目種」に指定されているニホンカモシカ *Capricornis crispus* が含まれていた。いくつかの種で親子連れやつがいとと思われる映像が複数回撮影されたことから、演習林で繁殖していると考えられた。ニホンジカ *Cervus nippon*、アカギツネ *Vulpes vulpes*、タヌキ *Nyctereutes procyonoides*、イエネコ *Felis catus* の撮影枚数が多かったいっぽう、鳥類の撮影枚数は少なかった。12種の哺乳類のうち6種は通年記録されたが、6種は撮影頻度に季節差があった。動画が多く撮影された時間帯（対象動物が活発に行動する時間帯）は他地域の結果とほぼ同様だった。ニホンジカはその採食圧で植生劣化や土壌流出を引き起こすことが各地で知られており、演習林のニホンジカの今後の動向に注目する必要がある。

文 献

- 遠藤 拓・北村俊平（2014）自動撮影カメラによる石川県林業試験場内の中・大型哺乳類相の調査。石川県立自然史資料館研究報告，**4**，23–36。
- 船越公威・岩元洋平・西田洸平（2009）鹿児島県産のキツネの生息状況と保全。Nature of Kagoshima，**35**，1–8。
- 石巻市産業部ニホンジカ対策室（2021）平成31年度石巻市鳥獣被害防止計画。石巻市，石巻，8 p。
- 石塚和雄・佐々木豊・根本智行・斉藤員朗・広瀬賢次郎（1994）石巻専修大学演習林・トヤケ森山の植物的自然Ⅰ。群落型と植物種類相。石巻専修大学紀要，**5**，1–44。
- 西丸堯広・北垣憲仁・西 教生（2016）自動撮影カメラによる都留文科大学キャンパスとその周辺地域の哺乳類相のモニタリング調査。自然環境科学研究，**29**，11–23。

- 野宮治人・重永英年・矢部恒晶 (2013) 無下刈りによるシカ食害の軽減とスギ苗の成長低下. 九州森林研究, 66, 54-56.
- R Developmental Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (version 4.0.0).
- 佐々木浩 (2011) 筑紫女学園大学の森「筑女の森」における哺乳類の生息状況. 筑紫女学園大学・筑紫女学園大学短期大学部紀要, 9, 247-254.
- 關 義和・江成広斗・小寺祐二・辻 大和 (2015) 野生動物管理のためのフィールド調査法: 哺乳類の痕跡判定からデータ解析まで. 京都大学学術出版会, 京都, 435 p.
- 島田博匡 (2010) カメラトラップ法で確認された三重県林業研究所実習林における中大型哺乳類相. 三重県林業研究所研究報告, 2, 43-49.
- 高崎宏寿・黒須啓如・佐久間光・澤登 悠・粕川峻比古・佐藤 将 (2016) 玉川学園構内における赤外線自動撮影カメラによる哺乳類の出現様式. 玉川大学農学部研究教育紀要, 1, 43-51.
- 高槻成紀 (1989) 植物および群落に及ぼすシカの影響. 日本生態学会誌, 39, 67-80.
- 田村典子 (1997) ニホンリスによるオニグルミ種子の貯食および分散. 霊長類研究, 13, 129-135.
- 塚田英晴・深澤 充・小迫孝実・須藤まどか・井村 毅・平川浩文 (2006) 放牧地の哺乳類相調査への自動撮影装置の応用. 哺乳類科学, 46, 5-19.

付 記

- 気象庁石巻測候所 (2021 年 8 月 17 日閲覧)
[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/select/prefecture.php?prec_no=34]
- MAPLOGS.COM 2020 (2021 年 8 月 17 日閲覧)
[<https://sunrise.maplogs.com/ja/>]
- 宮城県ホームページ (2021 年 8 月 17 日閲覧)
[<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/sizenhogo/red-index.html>]

中央構造線断層帯—最長活断層帯（四国）の諸性質—

岡田篤正（著），古今書院，2020年7月，368 p.，定価（9800円＋税），
ISBN 978-4-7722-5334-5 C3044

加藤 茂 弘¹⁾

（2021年8月27日受付，2022年1月5日発行）

中央構造線は、西南日本の地質構造を太平洋側（外帯）と日本海側（内帯）に二分する大断層であり（Naumann, 1886），1886年に明治政府のお抱え学者であったナウマンによりはじめて明らかにされた（山下，1993）。中央構造線は、長野県諏訪盆地付近から始まり、南アルプスから渥美半島の北に抜け、紀伊半島を横断して淡路島の南を通り、さらに四国北部を横断して九州北部に達する長さ千 km 以上の長大な地質境界である。紀伊半島中部以西の区間では現在も活発な断層運動を行っている活断層帯として認識されており、その区間の中央構造線は、中央構造線活断層帯あるいは中央構造線活断層系、もしくは中央構造線断層帯とよばれる。本書では、中央構造線断層帯の中でも最も活発に活動し、多くの大地震を引き起こしてきた四国域の活断層帯の特徴について解説されている。この区間だけでも長さ 200 km を超える長大な活断層帯であることが、「最長活断層帯（四国）の諸性質」という副題が付けられているゆえんであろう。

著者の岡田篤正先生は、大学院から半世紀以上にわたり中央構造線断層帯、とりわけ四国域の活断層帯を調査、研究されてきた自然地理学者である。中央構造線が第四紀後期に右横ずれ断層運動を行っていることは、Kaneko (1966) により最初に指摘された。岡田先生は、その具体的な運動様式や変位速度を詳細な地形・地質調査に基づいて明らかにし、中央構造線の活断層帯としての重要性を多くの研究者に認識させられてきた。それだけではなく、本断層帯を対象として数多くのトレンチ発掘調査を進め、国の大地震発生の長期予測に対して貴重な資料を提供されてきた。活断層帯としての中央構造線

の研究は、岡田先生なくして進展することはなかったと言っても過言ではない。そのような岡田先生が、四国域の中央構造線活断層帯の膨大な研究成果を単独でまとめられた労作が本書である。

四国全体を横切る長大な活断層について、50年以上に及ぶ研究の成果をまとめた書籍だけに、読破するのも一苦勞であった。活断層や中央構造線に関して一般読者よりもいくらか多くの知識を持つ評者であっても、そう感じた。一般読者が本書に目を通し読破することは、登山経験のない者がいきなりエベレスト登山に挑戦するようなものである。しかし、エベレスト登山とまでいかなくとも、ヒマラヤ山脈のトレッキングを楽しむように、少しずつ本書を味わうことは可能である。トレッキングで味わう大自然の壮大さと同様に、ゆっくりと歩む、もとい、読み進むごとに、日本列島におけるプレート運動の代表的表現としての中央構造線断層帯の地形・地質的なおもしろさや、その調査・研究の醍醐味が分かっていく。

そのあたりを考慮されたのであろうか、本書の構成は以下のように工夫されている。

- | | |
|-----|----------------------------|
| 第1章 | 中央構造線断層帯の概観 |
| 第2章 | 伊予灘の中央構造線断層帯 |
| 第3章 | 四国北西部（松山平野～桜樹屈曲部）の中央構造線断層帯 |
| 第4章 | 四国中央北縁部の中央構造線断層帯 |
| 第5章 | 讃岐山脈南縁部の中央構造線断層帯 |
| 第6章 | 中央構造線断層帯（四国）のまとめ |
- このように、まず中央構造線断層帯の概観を述べ、つ

¹⁾ 兵庫県立人と自然の博物館 自然・環境評価研究部 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目
Division of Natural History, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo; 6 Yayoigaoka, Sanda, Hyogo, 669-1546
Japan
katochan@hitohaku.jp

いで四国域の中央構造線断層帯を西側から順に4つの区間に分けて説明し、それらを最後に簡潔にまとめている。4つの活断層区間ごとの説明でも、多数の活断層を記述する第3章～第5章では、概説がなされてから詳細な解説に移るように配慮されている。そのため、第1章の概観を読み、各章の概説に目を通し、最後にまとめを確認するだけでも、中央構造線断層帯(四国)について多くの知識を得られるようになっている。巻末には文献表や多数の用語を載せた索引があり、さらに深く学習したい読者の便宜が図られている。一方、8枚のカラー口絵写真には、四国域の中央構造線断層帯の代表的な変位地形や断層露頭が撮影されており、その見事さに驚かされる。本文内でも地形や断層露頭の写真に加えて、詳しい図表が多数掲載されている。図表の多くは公表された論文や書籍から引用されているが、岡田先生オリジナルのものも多い。

岡田先生は、活断層写真の大家と言っても良く、地形写真にはかなりのこだわりを持たれている。中央構造線断層帯の上空を飛ぶ九州方面の飛行機に乗る際は日中便を選び、断層帯を見下ろせるように行きは右前側、帰りは左前側の席を予約するだけでなく、機内で撮影可能なフィルム用カメラに赤外線フィルターを装着して持ち込み、空撮に望んでいるようだ。その成果は本書のみならず、評者がすでに紹介(加藤, 2019)した「図説日本の活断層」においても、十分に堪能できる。こうした地形写真から、活断層の特徴を直感的に把握できることも、本書の利点の1つである。

本書は、中央構造線断層帯と大地震との関わりや過去の地震履歴、それらに基づく大地震の長期予測について

も多くのページを割いて解説している。その意味で本書は、四国のみならず中央構造線断層帯が位置する府県の防災関係部署に1冊は置いて頂きたい資料である。活断層を含む変動地形の調査・研究を志す大学生、大学院生、若手研究者には、ぜひ読んで頂きたい。それは、本書に記された膨大な数の研究によっても、中央構造線断層帯についてわからないことが山ほどあるからだ。活断層帯の活動区間がどのようにして決められ、どのような理由で分かれているのか、山地や平野の形成と断層運動との関わり、地下深部での断層の連続性など、まだまだ研究すべき課題は多い。岡田先生は、今後も研究が進み、中央構造線断層帯についてより多く、より深い知見が得られていくことを期待して、本書を書かれたに違いない。岡田先生ともども、中央構造線断層帯について書かれた新たな論文を目にして、研究の進展を喜ぶたいものである。

引用文献

- Kaneko, S. (1966) Transcurrent displacement along the Median Line, Southwestern Japan. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **6**, 45–59.
- 加藤茂弘 (2019) 図説 日本の活断層—空撮写真で見る主要活断層帯 36. 人と自然, **30**, 127–129.
- Naumann, E. (1886) Ueber meine topographische und geologische Landesaufnahme Japans. *Verhandl. Des sechsten deutschen Geographentages zu Dresden* (1886), 14–28.
- 山下 昇 (1993) ナウマンの地質構造研究—2 日本地質像の総合—ナウマンの日本地質への貢献 6—. *地質学雑誌*, **99**, 47–69.

編集後記

「人と自然 (Humans and Nature)」No. 32 をお届けいたします。「人と自然」は市民に開かれた学術雑誌です。そのような学術雑誌をどう育てていくかは、いつも大きな課題です。市民からの投稿であってみれば、たとえ荒削りなものであったとしても、編集委員がいっしょに育てていって論文として完成させたいと考えます。また、「人と自然」には「原著論文」「総説」「報告」「資料」の他に「意見」や「書評」も掲載します。この2つには査読を行わず、編集委員会の総意だけで掲載が決められます。より自由な論考や批評が繰り広げることができますので投稿についてご検討ください。これからもよい原稿をお待ちしています。

(秋山弘之)

「人と自然 (Humans and Nature)」No. 32 に投稿された論文は、審査について以下の方々にご協力をいただきました。記して感謝いたします。

審査員 (敬称略・あいうえお順)

梅原 徹, 加藤茂弘, 栗山武夫, 鈴木毅彦, 高田知紀, 高橋鉄美, 竹下欣宏, 谷川晃一郎, 鐵 慎太郎, 豊田光世, 中村由克, 野村康之, 藤井俊夫, 古木達郎, 三谷雅純, 山崎健史, 横川昌史

編集委員会

委員長：秋山弘之 委員：半田久美子／福本 優／鈴木 武／高橋鉄美／藤井俊夫

Editorial Board

Editor-in-chief: Hiroyuki AKIYAMA

Editors: Kumiko HANDA, Yu FUKUMOTO, Takeshi SUZUKI, Tetsumi TAKAHASHI, Toshio FUJII

発行者：兵庫県立人と自然の博物館

発行日：令和4年1月5日

印刷所：アイシー印刷 (株)